

Б. М. Галеев
С. М. Зорин
Р. Ф. Сайфуллин

Свето-музыкальные инструменты

Издательство «Радио и связь»

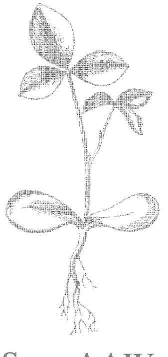


Основана в 1947 году

Выпуск 1117

Б. М. Галеев
С. М. Зорин
Р. Ф. Сайфуллин

Светомузыкальные инструменты





Москва
«Радио и связь»
1987

ББК 32.84
Г 15
УДК 681.848.5.001.66

Р е ц е н з е н т О. Г. Храбан

Г $\frac{2402020000-103}{046(01)-87}$ 71–86

Предисловие

Светомузыка[1] является неотъемлемым элементом современной культуры, рожденным под благотворным воздействием социального прогресса. И хотя не все еще определилось до конца в спорах о природе нового искусства, читатель уже может ознакомиться с историей и существующей теорией по вышедшим в свет недавно монографиям, популярным брошюрам, по сотням статей.

И в области художественной практики – пусть ее результаты еще не всегда могут отвечать высоким критериям эстетической оценки – светомузыка уже входит постепенно в систему общедоступных реальностей. Светомузыкальный синтез осваивается в рамках смежных искусств – театра, кино, телевидения. Сняты экспериментальные светомузыкальные фильмы – "Цвет и музыка" (Киев), "Космос – Земля – Космос" (Москва), "Прометей", "Вечное движение", "Маленький триптих", "Космическая соната" (Казань). С переходом телевидения к цвету начались интенсивные эксперименты по освоению светомузыкальных эффектов. Крупномасштабные светомузыкальные представления проводят главные киноконцертные залы страны – "Россия" в Москве, "Октябрьский", "Юбилейный" в Ленинграде, оперный театр в Тбилиси. Наиболее активные и планомерные изыскания и практические эксперименты идут в коллективах, специализирующихся в этой области искусства, – в музее А. Н. Скрябина (Москва), где в течение нескольких лет работал зал светомузыки, в СКБ "Прометей" (Казанского авиационного института), организовавшем городскую студию и первый в стране Музей светомузыки. Всеобщую известность получила деятельность Харьковского зала светомузыки, студии светомузыки МГУ, одесского клуба им. М. К. Чюрлениса, Мемориального музея космонавтики и группы "Андромеда" (Москва). Известны попытки создания студий светомузыки в Алма-Ате, Чкаловске, Минске, Ужгороде. Некоторые из них стали профессиональными коллективами и начали проводить регулярные светоконцерты для широкой аудитории.

Повседневной нормой становится использование светомузыкального сопровождения известными советскими вокально-инструментальными ансамблями, многие из которых для этой цели обратились сейчас к лазерной технике.

Однако для большинства представление о светомузыке ограничивается приобщением к побочному, прикладному ее направлению, опирающемуся на возможности автоматического сопровождения музыки светом и относящемуся к декоративно-оформительскому искусству. Судя по многим тысячам писем, которые получают авторы книги, именно в этой области работает подавляющее большинство радиолюбителей, занимающихся конструированием светомузыкальных устройств в школьных, вузовских кружках и лабораториях, в ПТУ и дворцах пионеров. Повышенный интерес к этой форме технической самодеятельности наблюдается в связи с широким развитием новой формы

---

[1] Наименование нового направления в искусстве еще не сформировалось окончательно. Используя термин "светомузыка", авторы акцентируют внимание на материале, которым в ней пользуются (не краски, а свет). Столь же распространен термин "цветомузыка", где в качестве существенного признака выделен цвет, понимаемый как обязательное и главное средство художественного воздействия в новом искусстве (такой версии придерживается, например, журнал "Радио"). – Прим. ред.

организации молодежного досуга – так называемых дискотек, в которых восприятие музыки сочетается со своеобразным "пиршеством света".

Авторы ни в коей мере не отрицают правомерности и необходимости существования "автоматической светомузыки". В своих книгах они в равной мере уделяли место и светомузыкальным инструментам и автоматическим светомузыкальным устройствам [24, 25]. Авторы убеждены, что опыт работы в этой области послужит подготовке широкой массы молодежи к освоению более сложных возможностей основного направления, решаемого с помощью концертных СМИ и светомузыкальных фильмов. Мы хотели бы оговорить только то, что необходимо различать эти два направления, не смешивать их и, уж во всяком случае, не ограничивать все содержание нового искусства веселым перемигиванием дискотечных фонарей.

Светомузыка – сложное явление современного искусства и требует соответствующего уровня воспитания и культуры при обращении с нею. Проанализировав сложившуюся ситуацию, ознакомившись со всей доступной литературой, изучив предложения, высказанные многими читателями прошлых изданий, авторы решили придать книге новую, современную направленность. Дело в том, что, хотя первые патенты по автоматическим светоустановкам появились еще в конце прошлого века, их схемы не испытывают до сих пор принципиальных изменений. Все они, как правило, работают по принципу разделения частотной полосы звукового сигнала на несколько каналов с последующим закреплением за ними определенного цвета. Многие сотни статей на эту тему в радиотехнических журналах разных стран содержат схемы, отличающиеся лишь тем, что электронные лампы или тиратроны заменяют, положим, транзисторами или тиристорами, вводят микросхемы [28]. Функциональная схема остается в общих чертах одной и той же. Для опытных радиолюбителей уже давно стало очевидным, что, сколько ни усложняй схему автомата, на художественных результатах светомузыкального синтеза это заметно не скажется, если не совершенствовать при этом экранно-оптическое устройство установки. Это подтверждает и практика современной "дискотечной светомузыки".

Учитывая, что в области развития автоматических светомузыкальных установок (АСМУ) не происходит ничего существенного, авторы решили вообще исключить из книги вопросы, касающиеся АСМУ, и целиком сконцентрировать внимание на малоразработанной проблематике конструирования светомузыкальных инструментов (СМИ). Учитывая также, что серийно СМИ не выпускают еще ни в одной стране и что вообще случаи промышленного их изготовления единичны, мы хотели бы приобщить советских радиолюбителей к самодеятельному конструированию СМИ, и им, надеемся, как всегда, будет по плечу решение возникающих в ходе работы трудных задач.

В чисто техническом отношении решение многих задач, возникающих в ходе экспериментов со СМИ, не представляет особой трудности и практически вполне посильно грамотному радиолюбителю. Но, как показывает опыт, это возможно лишь при одном непременном условии: конструктор светомузыкальных инструментов должен разбираться не только в радиоэлектронике и смежных с ней областях, таких, как светотехника, колориметрия, оптика и др., но и обладать определенным вкусом, желанием при необходимости самостоятельно углубляться в теорию музыки, живописи и других искусств, или, учитывая, что создание светомузыкальных произведений – проблема комплексная, смело привлекать к творческому содружеству музыкантов и художников.

Дело в том, что сама проблема в ее философско-эстетическом аспекте до сих пор не получила определенного решения. Да и в будущем не следует ожидать однозначного общепринятого объяснения, которое могло бы служить конструктору в качестве обязательного и единственного руководства к действию. Не следует ожидать и того, что сами деятели искусства путем чисто умозрительных рассуждений смогут когда-нибудь представить техническое задание, позволяющее создать некий универсальный световой инструмент, пригодный во все времена и на все случаи жизни. Только при постоянном взаимодействии специалистов разного профиля могут последовательно

и успешно развиваться теория, художественная и конструкторская практика нового искусства.

Естественно, большей результативности в работе помогло бы добиться знакомство с основными эстетическими предпосылками, определяющими становление светомузыки, с историей ее развития. Это позволит конструктору избежать повторения "детских болезней" нового искусства. И, судя по нашему многолетнему контакту с читательской аудиторией, уже постепенно осознается ошибочность распространенного мнения о возможности однозначного перевода музыки в свет, в том числе и автоматического. Поэтому мы решили не останавливаться подробно на критике подобных идей, а тех, кто интересуется теорией светомузыки, отсылаем к нашим прошлым изданиям. Кроме того, имеются уже специальные библиографические указатели, где собрана практически вся литература о светомузыке на русском языке[1].

Конечно, освоение информации из области эстетики, искусство–знания и психологии, содержащейся во всей этой литературе, нельзя назвать простым делом.

Зато тем, кто освоит эстетические основы проблемы, кто сумеет подчинить свой "конструкторский зуд" достойным художественным целям, тем скорее всего откроется чудо "светящегося звука". Сама же светомузыка после обращения к ней широкого контингента таких неутомимых экспериментаторов, как радиолюбители, будем надеяться, сделает еще более заметный шаг в своем развитии. Нашу работу продолжает освещать надежда, что совместными усилиями художников, музыкантов, радиолюбителей-конструкторов будут созданы такие световые инструменты, которые широко войдут в практику современной художественной культуры.

Главы 1, 2 и заключение написаны Б. М. Галеевым, гл. 3 и параграфы 12, 14, 16 и 17 – совместно с Р. Ф. Сайфуллиным, параграфы 10, 15 – С. М. Зориным, 11, 13 – тремя авторами.

Отзывы и пожелания по книге следует направлять по адресу: 101000, Москва, Почтамт, а/я 693, издательство "Радио и связь", Массовая радиобиблиотека.

---

[1] Синтез искусств: Указатель литературы. – Одесса: Гос. б-ка им. А. М. Горького, 1975.–24 с.; Светомузыкальные эксперименты СКБ "Прометей": Библиографический указатель (1962–1978). – Казань: КАИ, 1979.-34 с.; Светомузыка в России и в СССР: Библиографический указатель (1742–1982). – Казань: КАИ, 1983.–46 с.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭСТЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНОГО СИНТЕЗА

1. Системная классификация искусств

До конца XIX века на Парнасе, где по преданию пребывают в гармоническом союзе музы, покровительницы всех искусств, было все спокойно. Семья муз казалась полной и завершенной. Существующих искусств считалось достаточным для того, чтобы удовлетворять все эстетические потребности людей и воплощать любые художественные запросы общества.

Но потребности продолжали расти, и как продукт единой развивающейся культуры возникали новые технические средства, способные удовлетворить возросшие запросы. Так, в последнее столетие родились и бурно развиваются искусства кино, художественной фотографии, радио, телевидения. Их появление было подготовлено всем предыдущим периодом развития художественной культуры. Рост семьи муз продолжается на наших глазах. Формируются в экспериментах и спорах такие новые жанры и виды, как электронная музыка, световая архитектура, светомузыка и т.д. При всем разнообразии их особенностей существует один общий объединяющий их признак. В отличие от прежних традиционных искусств, использующих естественные, "натуральные" средства, все эти новые виды и жанры искусства XX века оперируют материалами "искусственного" происхождения – звуком, воспроизводимым электроакустическим способом, и световым изображением, получаемым методом проекции на экране. И в основе своей "искусственные" звук и изображение выступают в единении, поэтому большинство из новых искусств и относят к разряду синтетических.

Есть ли какая-либо закономерность в возникновении этих новых искусств? Имеют ли они право на самостоятельное развитие? Теоретиков искусства эти вопросы волнуют уже давно, ведь современная техника дает в руки художника огромный арсенал новых средств. Палитра искусства кажется необозримой – новые источники звука, света, лазеры, синтезаторы, компьютеры, голограммы! Популярные журналы пестрят наименованиями новых художественных явлений – лазерное, голографическое, кибернетическое, кинетическое, электрическое, оптическое искусства. . .

Опираясь на жизнеутверждающие положения материалистической науки, попытаемся определить реальную роль техники в искусстве и показать, как проявляется она в развитии художественной культуры. Представим в связи с этим в очень упрощенном схематическом виде, как происходило формирование системы искусств – от древних времен до наших дней (рис. 1). Классификация существующих искусств здесь представлена в виде наглядной двухкоординатной таблицы. Она, конечно, не может претендовать на такую же строгость и однозначность, как, положим, периодическая система Менделеева. Но определенную ясность в выявлении природы новых искусств она внести поможет. В свете наших интересов координатами послужат такие известные принципы разделения искусств, как "способ восприятия" (зрительный и слуховой) и "тип образности" (изобразительный или выразительный). К изобразительным, как известно, относятся те искусства, которые пользуются образами, сохраняющими подобие предметам и явлениям действительности (живопись, скульптура и т.д.). В выра-



Рис. 1. Система традиционных видов искусства

зительных искусствах связь с действительностью не прямая, а опосредованная (музыка, архитектура и т. д.).

В центре системы поместим синкретическое искусство древности, когда все виды художественной деятельности существовали в слитном единстве. И слово, и музыка тогда воспринимались как слухом, так и зрением. Зримым словом был актерский жест, а зримой музыкой – пластика танца.

Но общество, как известно, могло развиваться лишь в результате разделения труда, с соответствующим выявлением профессиональных склонностей каждого человека, распределением обязанностей в обществе. Затронул этот процесс и искусство. В результате первобытный синкретизм распался, и в конце концов образовались известные нам самостоятельные виды искусства. Каждое из них служило целям более глубокого удовлетворения определенных художественных потребностей человека. По горизонтальной оси, как мы видим, расположены слухозрительные искусства, а по вертикальной – искусства прикладного характера. В них в наиболее заметной форме сохранились "следы" прежнего синкретического единства. Но и остальные искусства, достигая своих вершин, не упускали возможности хотя бы косвенного восстановления утраченного единства, естественно, уже на новом уровне, в новом качестве. Они целенаправленно вступали в союз одно с другим, образуя сценические и другие формы синтеза: драматический и музыкальный театр (опера, балет), монументальное искусство, вокальная музыка, книжная графика и т.д. Синтетические связи такого рода в таблице условно показаны стрелками.

Кроме этих очевидных связей существуют и специфические взаимодействия между искусствами. Речь идет о взаимном подражании искусств, заимствовании сюжетов, приемов и законов композиции. Таким образом, все искусства как бы стремятся предельно испытать свою специфику, порою пытаясь достичь невозможного, вплотную подступая к своим границам (примеры: "музыкальная" живопись М. К. Чюрлениса и В. В. Кандинского – рис. 2, "живописная" музыка К. Дебюсси и Н. А. Римского-Корсакова, "изобразительная" поэзия Г. Апполинера и А. А. Вознесенского).

Совокупность всех этих связей, очевидных и неочевидных, как раз помогает сохранить целостность нашей системы, хотя она состоит из множества самостоятельных элементов.

С развитием "искусственных" светозвуковых средств возросшие художественные потребности получили возможность быть реализованными в серии новых видов худо-



Рис. 2. Беспредметная композиция русского художника В. В. Кандинского

жественной деятельности. Мы не станем здесь подробно останавливаться на методике построения внешнего ряда ячеек расширенной системы искусств (рис. 3). Отметим лишь, что по системным координатам соответствующих ячеек можно определить специфику, особенности каждого из этих новых видов.

Начнем обзор искусств эпохи НТР с важнейших и знакомых всем. Искусство слова, получив возможность быть записанным и транслироваться, обрело новое качество в радиоискусстве. Потребность и способность художественного отображения действительности в зримых формах нашла новое воплощение в фотографии и в ее "ожившем" варианте – немом кино. (В эту же ячейку следует поместить и голографию.) Актерско-драматическое искусство лежит в основе искусства телевидения. Как мы видим сегодня на практике, новые виды отнюдь не являются простыми техническими копиями своих соседей по таблице. Используя возможности нового материала, они отражают действительность иначе, хотя и сохраняют близость к своим предшественникам.

Общим признаком рассмотренных новых видов является их принадлежность к классу изобразительных искусств. Аналогичные процессы происходят, пусть и не столь активно, в правой половине таблицы, где расположены выразительные искусства. Зарождается электронная музыка (искусство грамзаписи и т.д.); светодинамическое искусство (беспредметное кино и т.д.); светомузыка концертного исполнения.

Подробный анализ позволяет указать на содержание остальных ячеек, где находятся промежуточные художественные явления: театрализованные представления "Звук и Свет"; "Латерна магика", сочетающая киноизображение с живым актером; "пространственная музыка" с движением звука в зале; светопространственные зрелища (типа "лабиринт", "лазериум" и т.п.); звукооформительское искусство и функциональная музыка (сюда входит и поп-музыка) – симметрично им внизу схемы расположены светооформительское и выставочно-экспозиционное искусства (полиэкран, световая архитектура и т.п.). В верхней и нижней ячейках, судя по всему, размещены звуковой и световой дизайн, характеризующие эстетизацию окружающей жилой и производственной среды.

Многие из этих художественных явлений, как мы увидим далее, находятся в стадии эксперимента, и содержание их в будущем будет, конечно, уточняться. А пока отметим, то, что очевидно уже сейчас. В этой расширяющейся системе заметнее, чем прежде, действие синтетических связей. И самостоятельные жизнеспособные виды искусства образуются лишь при синтезе соответствующих художественных форм из зрительной

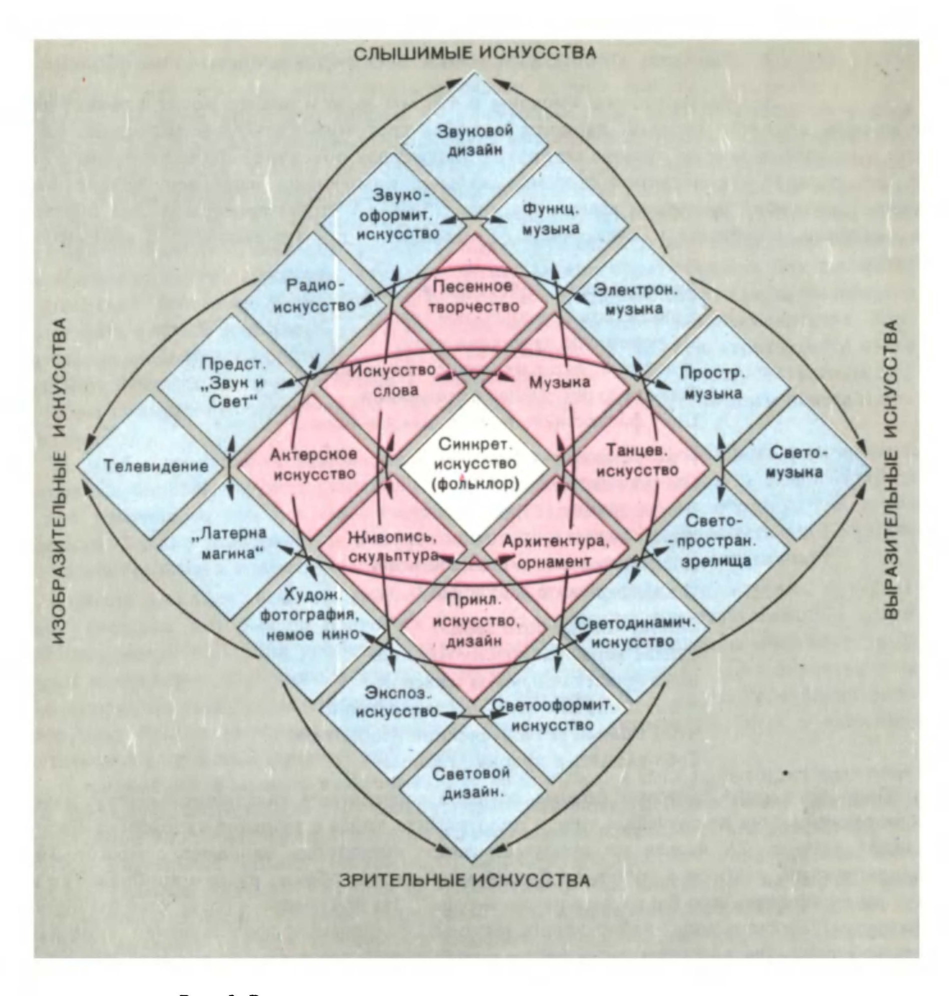


Рис. 3. Расширенная система видов искусства

и слуховой области. Так, кинематограф включает в синтез возможности "ожившей" фотографии и радиоискусства; союз светодинамического искусства и электронной музыки рождает светомузыкальный фильм. Постоянно сопутствуют друг другу светооформительские и звукооформительские элементы (к примеру, обеспечивая художественное оформление дискотек). Синтетические связи, отмеченные и на этой схеме стрелками, как раз и определяют целостность системы искусств, даже при ее расширении. При этом очевидно, что система искусств продолжает выполнять свои социальные функции – художественно-образного отражения усложняющейся действительности.

Понимать это всем, кто экспериментирует с новой техникой в искусстве, нужно обязательно. Иначе экспериментатор будет обречен на бесплодность и бессмысленность результатов, как это можно видеть в "авангардистских поисках" западных художников. А в рамках нашей книги анализ системы искусств позволит точнее определить своеобразие нового звукового и светового инструментария, необходимой электронной и оптической аппаратуры, которая используется при реализации светомузыки и других, близких к ней, художественных форм.

2. Техника воспроизведения светомузыкальных композиций

Все то, на что мы смотрим и что мы можем видеть, носит название визуального объекта. Таковой является и любая светомузыкальная композиция. Как она выглядит, в чем ее отличие от других визуальных объектов? Легче всего это объяснить, отослав к конкретной светомузыкальной композиции, например "Вечное движение", созданной авторами книги (см. рис. 35, *в*). А чтобы представить эти образы в движении, обратимся к словесному ее описанию – так это выглядит в изложении поэта·

Вот на экране – цвета синей рани –
Кристаллов переливчатые грани
Полифонично зазвучали вдруг!
И видел я, как в их игре спектральной,
Пленяя души связью изначальной,
Цвет фантастично превращался в звук.

И вот, сквозную тему развивая,
Цветная геометрия живая
В игре звучащих форм передает
Микропейзажи клеточного среза
И симметричность атома железа,
И квантов света радужный полет.

Сияние малинового звона!
Сейчас экран раскраску махаона
Высвечивает призмами насквозь,
А вот он лупой стал тысячекратной,
Чтоб тайный ритм вселенной необъятной
Тебе увидеть в красках удалось[1].

Подобного рода сложные образы создают посредством светоинструментов, либо кинотехники. Они не случайны, они – плод таланта, труда и терпения художника. Часто задают вопрос: "А нельзя ли придумать такое устройство, например с мозговыми биодатчиками, которое улавливало бы все мимолетные образы нашего воображения и тут же воспроизводило бы их воочию на экране?" Но подумайте – разве стал бы кинофильмом "Война и мир" набор ваших смутных неуловимых представлений, которые реализовались бы на таком чудо-экране в ходе чтения толстовского романа? Конечно, нет – любой художник работает всегда непосредственно "в материале", предварительно обдумывает композицию во всех ее деталях, организуя ее при этом по законам своего искусства Сразу, сам по себе, новый художественный результат возникнуть из ничего не может.

Тогда может быть можно создать такой светоинструмент, чтобы человек садился за пульт, нажимал на одну клавишу – и на экране медленно вспыхивает заря, возникает пульсирующая, с мириадами искр, галактика? При нажатии на другую клавишу галактика превращается в бушующее пламя, еще на одну – все сжимается в тонкую спираль, свертывается в точку и т.д. Короче, как говорится, любой образ, который появляется в воображении художника может возникнуть на экране при нажатии соответствующей клавиши. Реально ли это? Увы, нет! Опыт светомузыкального синтезирования, включая и наш собственный, убеждает, что существование такого универсального инструмента возможно лишь в идеале – клавиатура у этого инструмента должна быть бесконечной. . . Для того чтобы реализовать на экране каждую из таких картин, надо заложить соответствующие возможности в светоинструмент заранее. И бесконечными они, эти возможности, быть не могут.

---

[1] Линник Ю. В. Светомузыка. – Техника молодежи, 1975, № 11, с. 17.

Но как не хочется, как трудно отказаться от такой мечты! Ведь зрителю светоконцертов кажется, что исполнитель обладает полной свободой в выборе и управлении любыми образами, любым их движением. Увы, зритель просто не всегда знает, что каждому исполнению предшествует кропотливый труд по технической подготовке не только самого светоинструмента, но и собственно световой композиции. Чтобы создать другую композицию, необходимо снова браться за паяльник, скальпель, отвертку. . . Ознакомившись с техникой, которой пользуются современные светохудожники, наивный зритель разведет руками. "А вот в будущем наверняка изобретут другие принципы, наука всесильна, можно будет обойтись без паяльника и отвертки". Возможно и так, будет иная техника, но подобно тому, как науке никогда не создать вечного двигателя, не удастся перешагнуть и через законы искусства. Всегда невозможно будет обойтись без труда, без творчества, без предварительного вынашивания замысла. А применительно к нашей проблеме – нельзя миновать этапа подготовки конкретного технического обеспечения любого художественного образа светомузыки.

И, чтобы представить реальные возможности человека, необходимо рассмотреть, какие же способы существования визуальных объектов заложены в самой природе и что изменилось при освоении средств искусственного происхождения, т. е. новой техники. Только разобравшись в этом, можно обрести реальную власть над бесконечно разнообразным и переменчивым миром видимых красок, форм и движений.

Сначала выясним, чем мог пользоваться человек прежде, т. е. изучим "натуральные" средства, которые он применял в процессе общения и соответственно в традиционных искусствах. Для удобства будем рассматривать аудиовизуальный инструментарий в единстве слухового и зрительного воздействия (рис. 4). Для описания этой схемы приняты следующие сокращения: *Чел.* – человек; *ПУ* – пульт управления (клавиатура); *ВАУ* – выходное акустическое (звучащее) устройство; *ВОУ* – выходное оптическое устройство (предмет наблюдения).

В традиционной музыке взаимодействие между *Чел.* и *ВАУ* происходит практически напрямую, посредством *ПУ*, позволяющего наиболее удобно и полно реализовать управление *ВАУ* Аналогичная ситуация и в визуальном канале. Человек создает необходимый визуальный объект (скульптура, картина) посредством определенных материалов (камень, краски) и орудий их обработки (резец, кисть), так же заимствованных из самой природы. В целях унификации и здесь применим их обозначение как *ПУ* и *ВОУ*. В обоих случаях человек обеспечивает инструментарий своей механической энергией, управляя им. Тем более очевидно это положение при функционировании

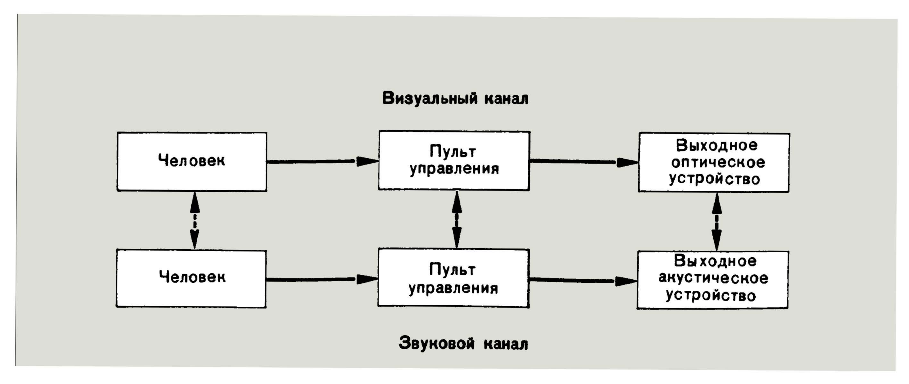


Рис. 4. Взаимодействия в системе натуральных средств аудиовизуальной коммуникации

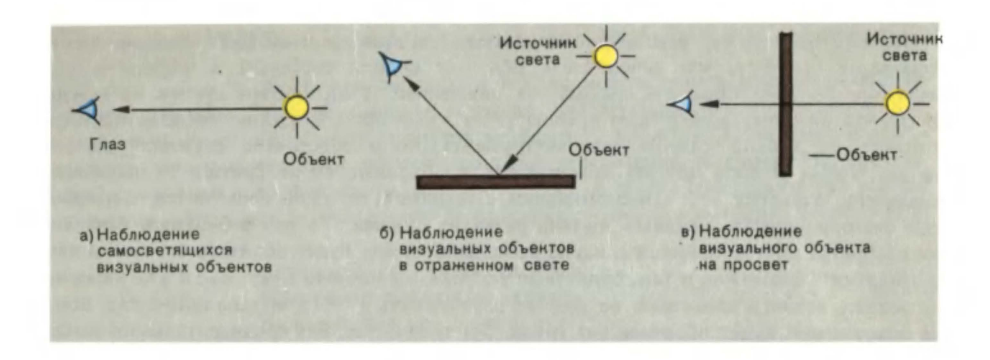


Рис. 5. Способы существования натуральных визуальных объектов

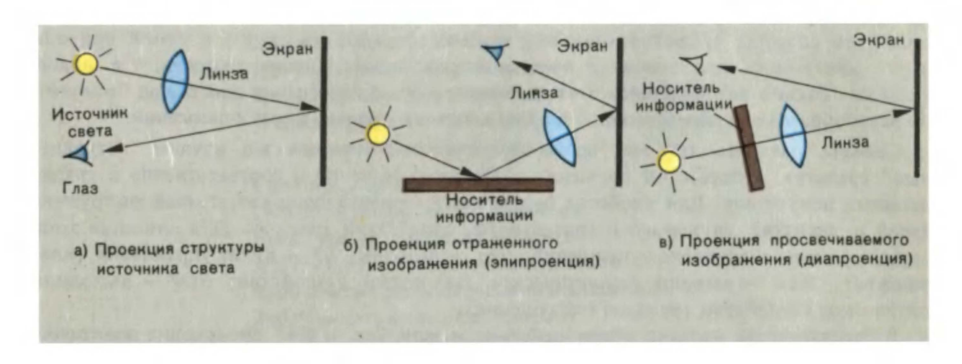


Рис. 6. Основные формы существования визуальных объектов "искусственного" происхождения (световая проекция)

такого целостного аудиовизуального инструмента, как человек-актер, когда все элементы нашей схемы объединены в одно физическое целое.

Визуальный инструментарий располагал тремя способами существования (рис. 5). Естественные источники света не могли сами по себе быть использованы как носители информации, так как были неподвластны в управлении ни по структуре, ни по динамике. Так что единственным художественным явлением, где применялись прежде самосветящиеся визуальные объекты, оставался фейерверк (рис. 5, *а*). Редкостью было и использование случая (рис. 5, *в*) – витражи, диорамы. Основным способом, широко применяемым в искусстве, являлось использование отраженного света (рис. 5, *б*). Здесь визуальный объект существует при участии внешнего источника света. Носителем информации объект становился при соответствующей обработке. Причем и живопись, и скульптура, и архитектура оставались неподвижными. Единственным управляемым в движении визуальным объектом в искусстве был сам человек, что и обусловило ограничение возможности видеть музыку восприятием пластики жеста в танце.

Резко изменилась ситуация с появлением электрических и иных источников искусственного света. Во-первых, стало возможным создавать самосветящиеся визуальные объекты с необходимой структурой изображения, причем с управляемой его динамикой (неоновая реклама, растровая картина на экране кинескопа). Но основным приемом оказалась световая проекция (рис. 6, *а – в*).

Здесь визуальным объектом является уже не само вещественное изображение, а экран с неоднородным распределением освещенности его различных точек, достигаемым совместным действием источника света и носителей информации (чаще небольшого размера), помещаемых на пути света. Собственно подобные случаи проекции встречаются и в самой природе (тень деревьев на земле, блики света от поверхности воды на берегу и т.п.). Но чисто внеприродной стала проекция при использовании линзовой оптики. Наибольшее распространение получил прием диапроекции, хотя изредка применяются и другие.

Для получения теневой проекции источник света должен быть мал по сравнению с носителем информации, находящимся на пути луча (см. пример контурного отверстия на рис. 7, *а*). На экране в данном случае проецируется тень этих контуров. Если уменьшить отверстие до точечного размера и увеличить размеры источника света, то на экране начинает проецироваться изображение самого источника, выполняющего в данном случае функции носителя информации (рис. 7, *б*). Этот случай используют редко, так как управлять структурой такого источника довольно трудно.

Более удобно заменить источник света другим небольшим ярко светящимся объектом, специально предназначенным играть роль носителя информации. Им может быть любой оптически неоднородный предмет, на котором сконцентрирован свет от источника (рис. 7, *в*). По сути дела, в этом приеме объединены достоинства обоих предыдущих. Но точечное отверстие диафрагмы пропускает мало света, и в чистом виде варианты *б* и *в* используют редко.

Выяснилось, что точечное отверстие можно заменить эквивалентом, обладающим значительно большей светосилой, т.е. линзой (на рис. 7, *г* – объектив). Для концентрации света ввели дополнительное звено – конденсатор. Так родилась известная нам

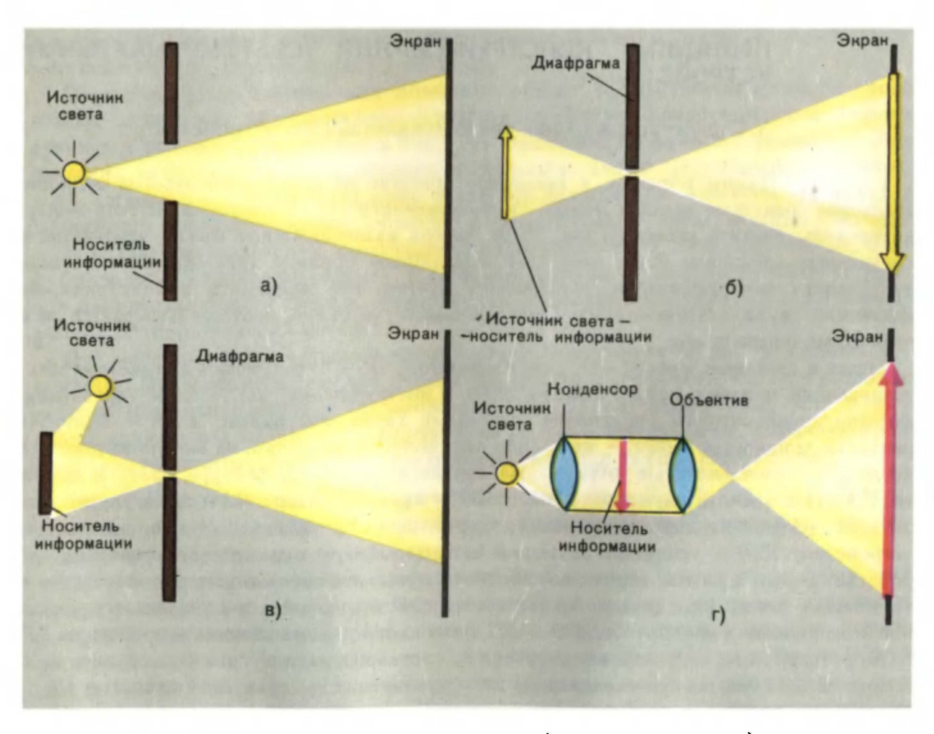


Рис. 7. Эволюция приемов проекции (в упрощенном виде)

диапроекция. Замена вещественного визуального объекта проекцией дает большие преимущества. Проекция позволяет получить практически любой масштаб изменения размеров изображения, быструю смену изображений, сложение, что обеспечивает широту изобразительного и динамического диапазона этого вида визуальной техники.

Кроме того, есть еще одна особенность светового изображения, которую мы непроизвольно осознаем, отдавая предпочтение диапозитивному воспроизведению пейзажа по сравнению с его снимком на фотобумаге. При восприятии реального пейзажа широта яркости, т.е. интервал возможных ее значений, различаемых глазом, равен приблизительно 1 : 1000. Широта же яркости любого фотоснимка, любой картины в лучшем случае 1 : 100, поскольку самые темные их места не абсолютно черны, а самые светлые – несравнимо менее ярки, чем самые яркие природные объекты (особенно самосветящиеся). Фотолюбители знают, как трудно "уместить" все оттенки снимаемого пейзажа в широту фотобумаги. У диапозитива же (если смотреть его на просвет или проецировать на экран) широта намно́го выше – приближается к 1 . 1000, поэтому он воспринимается как более естественный, цвета на нем глубже, сочнее, насыщеннее.

Диапроекция лежит в основе воспроизведения киноизображения, где визуальный объект на экране воспринимается подвижным за счет дискретной проекции последовательного ряда статических изображений на пленке. В технике светомузыки чаще всего используют прием непрерывной проекции плавно движущихся носителей информации. Кроме того, специфические цели светомузыки заставили вновь обратить внимание на забытые способы проекции (рис. 7, *а–в*), которые применяют лишь в театре, и то изредка. Казалось бы, все это вполне очевидно и просто, но подобная классификация, как увидим дальше, откроет много неожиданного и интересного для вдумчивого конструктора.

ГЛАВА ВТОРАЯ
ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

3. Структурная схема светомузыкального устройства

Таким образом, в последнее столетие на смену натуральным аудиовизуальным средствам пришли новые, "искусственного" происхождения. И если модернизировать, развить схему на рис. 4, то теперь взаимодействие между человеком и визуальным объектом будет выглядеть следующим образом (рис. 8). Схема аудиовизуального инструментария усложнилась (учтем, что появились и электрические источники звука). Изменились и функции самого человека, поэтому называется он в этой схеме теперь иначе.

Здесь в световом канале: *СО* – светооператор; *ПС* – пульт управления светом, обеспечивающий контакт между исполнителем и инструментом; *БУ* – блок управления, формирующий сигналы управления световыми характеристиками; *БУМ* – блок управления мощностью; *ВОУ* – выходное оптическое устройство, на экране которого и воспроизводятся световые образы, меняющиеся по форме, фактуре, цвету и яркости. Соответственно в звуковом канале: *ЗО* – звукооператор; *ПЗ* – пульт управления звуком (смешение, пространственное перемещение); *ЗВУ* – звукопроизводящее устройство; *УЗЧ* – усилитель звуковой частоты; *ВАУ* – выходное акустическое устройство. Вертикальными стрелками обозначены возможные связи между световыми и звуковыми каналами. При многократном исполнении одной и той же светомузыкальной композиции узлы *ЗО, СО, ПЗ* и *ПС* заменяются запоминающим устройством *ЗУ*

В развернутом виде структурная схема светового канала показана на рис. 9, *а*. В этой схеме имеются три параллельно действующие цепи: управления яркостью ($Я_1$ – $Я_4$), формообразованием ($Ф_1$ – $Ф_4$) и цветностью ($Ц_1$ – $Ц_4$). Каждая из этих цепей представлена соответственно своими независимыми элементами в *ПС*, *БУ*, *БУМ* и *ВОУ*.

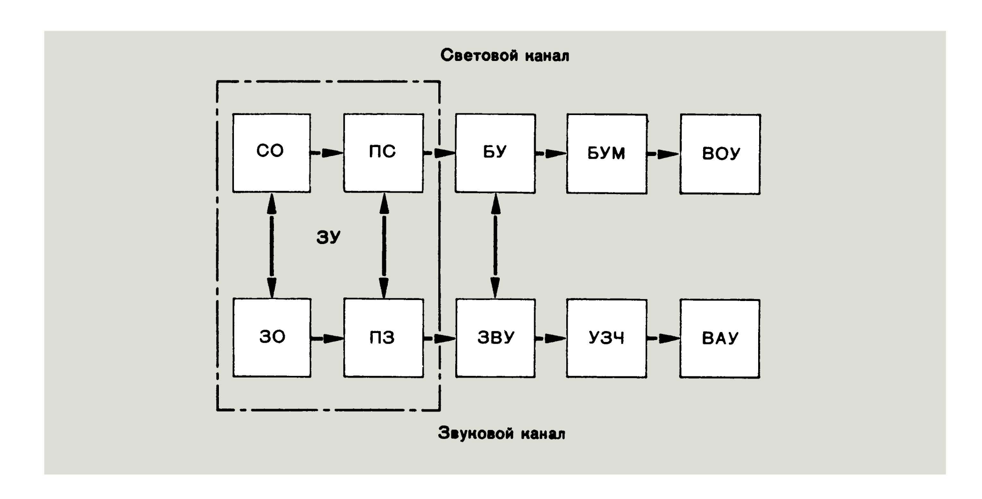


Рис. 8. Структурная схема аудиовизуального инструментария

Рассмотрим прежде всего *ВОУ*, в котором соответствующие элементы могут располагаться так, как показано на рис. 9, *б*. $Я_4$ содержит источник света и устройство для регулирования светового потока (диафрагма, ячейка Керра, оптические клинья и т. п.), управляемые с помощью $Я_3$. Надобность в диафрагмировании отпадает, если источником света можно управлять электрически. В первом случае $Я_4$ можно менять местами с $Ф_4$ и $Ц_4$ или совмещать его с ними.

Просвечиваемый плоский или объемный объект $Ф_4$ выполняет функции своеобразных оптических запоминающих устройств (трафарет, кинофотопленка, деформирующая и направляющая оптика и т. д.). Их перемещают с помощью различных электрических исполнительных механизмов (электродвигателей, соленоидов, сельсинов и т. д.), питаемых с выхода $Ф_3$. Сейчас появилась возможность изменять структуру неподвижного просвечиваемого объекта непосредственно электрическим сигналом.

В случае необходимости перемещения светофильтров $Ц_4$ (абсорбционные, интерференционные, поляризационные) или дисперсионных и дифракционных устройств для разложения белого света в спектр (последовательность призм и т. д.) также применяют соответствующий элемент $Ц_3$.

При использовании растровой оптики схема, показанная на рис. 9, несколько изменяется. Это связано с тем, что формообразование в данном случае происходит разверткой луча или коммутацией множества параллельно соединенных устройств подобно показанным на рис 9 и работающим по упрощенной схеме. Ограничение проводимого анализа проекционным вариантом не скажется на ходе рассуждений

Устройства, управляющие электрической мощностью $Я_3$, $Ф_3$, $Ц_3$, выполняют на реостатах, автотрансформаторах, магнитных усилителях, на электронных лампах и транзисторах, тиратронах и тиристорах.

Интересные закономерности выявляются при анализе основных способов технической реализации светомузыки. При решении этой задачи средствами кинематографа цепи *Ц* и *Ф* совмещаются (одна пленка, один лентопротяжный механизм; источник света работает в постоянном режиме). Круг манипуляций оператора на блоке *ПС* сужается до минимума (включение и выключение аппарата), вместе с тем на экране может быть воспроизведено сложнейшее сочетание красочных форм Но этому должна предшествовать огромная предварительная работа по созданию цветоформообразующего

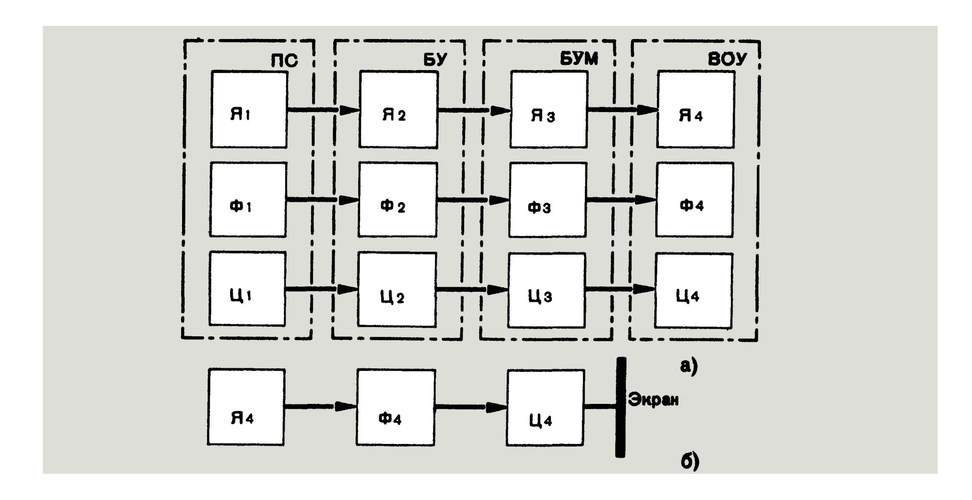


Рис. 9. Структурная схема светового канала (*а*) и вариант расположения элементов в *ВОУ* (*б*)

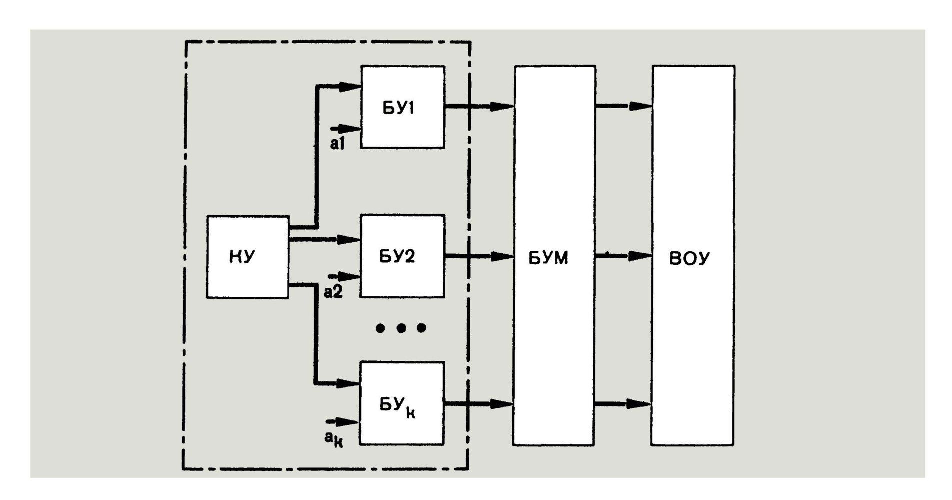


Рис. 10. Многоканальный светомузыкальный инструмент проекционного типа

элемента – демонстрируемой кинопленки (с чем связано, как известно, полное исключение эффекта присутствия).

Напротив, при желании предельно увеличить исполнительский момент и иметь на экране сиюминутную визуализацию замысла, можно использовать инструмент с растровой оптикой. Блок ПС такого инструмента обычно повторяет структуру растра, что приводит к большим трудностям в управлении световой картиной при увеличении его разрешающей способности. Поэтому, имея даже идеальный растровый инструмент, при непосредственном исполнении музыканту-оператору очень трудно получить на экране картину той сложности, какую можно получить с помощью кинопленки. Таким образом, при разных технических способах реализации светомузыки, композитор должен учитывать их особенности и наиболее полно использовать их достоинства.

Светомузыка как искусство временное может быть исполнено на световых инструментах, как искусство пространственное – зафиксировано на кинопленке и, что еще существенней, создано средствами и методами кино. Но вне сомнения, метод непосредственного исполнения и метод кино не исключают один другого, так же, как имеют право на сосуществование непосредственная игра актера в театре и игра актера в кино. Для каждого из этих методов будут создаваться свои, специфические светомузыкальные произведения.

В промежуточном положении находится техника "динамической светоживописи". Оператор имеет весьма большой, но конечный набор устройств, работающих по схеме, изображенной на рис. 9, и соединенных так, как показано на рис. 10.

Все блоки *ПС* этих устройств связаны одним коммутационным устройством *КУ* (клавиатурой и т. п.). И оператор поочередно или одновременно, согласно партитуре, воспроизводит на экране необходимые светотеневые проекции, используя заранее подготовленные формообразующие элементы. Но при этом исполнитель может менять скорость и характер перемещения фигур, их цвет и яркость, по-различному комбинировать их. В случае, если световая партия окажется сложной в исполнении, управление может быть поручено сразу нескольким операторам или запоминающему устройству, которое будет воспроизводить подготовленные заранее фрагменты световой партии

4. Специфика взаимоотношений в системе художник–техника при светомузыкальном синтезировании

Итак, мы определили общие принципы создания технического инструментария, который позволял бы реализовать необходимой сложности свободно управляемые светоцветовые картины, меняющиеся вместе с музыкой по яркости, рисунку, фактуре, глубине и цвету. В чем заключается специфика непосредственно самого процесса конструирования и использования этой техники? Каковы взаимоотношения между художником и техникой при реализации светомузыкального синтеза?

Вопрос этот, оказывается, непростой и имеет, по крайней мере, два аспекта. Остановимся вначале на первом из них, связанном с выяснением пределов автоматизации светомузыкального синтеза.

Среди некоторых конструкторов и ученых существует мнение, что светомузыка – это и есть то искусство, в котором не только возможно, но просто необходимо использовать принципы машинного сочинения. Они считают, что "Скрябины" – явление временное и что в конце концов их можно заменить автоматами, конечно, не такими простыми, какие существуют сейчас, а более сложными, совершенными.

Разумеется, при создании оригинальных светомузыкальных произведений эта точка зрения является столь же спорной, как и в отношении других видов искусств "Возможно, – считает академик А. Н. Колмогоров, – что автомат, способный писать стихи на уровне больших поэтов, нельзя построить проще, чем промоделировав все развитие культурной жизни того общества, в котором поэты реально развиваются" Но может быть при решении более скромной задачи – создании светового сопровождения к уже существующей музыке – оправдывают себя намерения "машинопоклонников" (термин Н. Винера)?

К примеру, в установке по схеме рис. 9 можно на все блоки *БУ* подавать управляющие сигналы, которые сформированы анализаторами музыки $a_1 - a_k$, определяющими и классифицирующими в каждый момент основные характеристики звучащей музыки – тембр, ритм, громкость, высоту, темп, тональность и т. п Опираясь на известные слухозрительные соответствия, используя статистические соотношения (с какими, например, цветами и формами чаще всего ассоциируются каждый тембр, тональность, мелодия и т. д.), можно автоматически воспроизвести на экране такое световое сопровождение, которое постоянно обеспечивало бы соблюдение эффекта светозвука –

слухозрительного синхронизма, не противоречащего слухозрительным ассоциациям большинства людей.

Но такое световое сопровождение никак не может быть высокохудожественным, и не только потому, что оно реализовано лишь на "слухозрительном унисоне". Оно не сравнимо с "человеческим" сочинением, поскольку в процессе творчества для достижения определенного художественного эффекта композитор волен отступать от наиболее вероятных, привычных проявлений эффекта светозвука и выбирать из маловероятных, небанальных те, которые для него неповторимы и единственно необходимы. В сущности, повторяется ситуация, сложившаяся сейчас в области кибернетического "сочинения" обычной музыки. "Чем полезна такая музыка? – спрашивает советский ученый В. В. Иванов. – Она прекрасный пример того, как не должны писать люди. С помощью машины имитируется человеческая посредственность. Мы как бы получаем точную математическую формулировку того, что уже стало стандартом, по которому работают ремесленники".

Конечно, возможно и управление коммутационным устройством (см. рис. 10) поручить машине, которая, имитируя творчество, время от времени стала бы моделировать и редко встречающиеся проявления эффекта светозвука. Но если у композитора эти "отступления от правил" осознаны, подчинены единому художественному замыслу, то у кибернетического устройства, не обладающего всей биологической и социальной памятью человека, они не могут быть не случайными и поэтому бесцельны.

Так что даже создание световых сопровождений, если ставится задача добиться их высокой художественности, остается за человеком-творцом. Но вместе с тем возможна самостоятельная область автоматического синтезирования музыки и света, когда музыка сама управляет динамикой имеющегося набора световых эффектов, пусть не подчиненных в своем развитии единому художественному замыслу, определяемому музыкой, но создающих зрелищный эффект в рамках декоративно-прикладного искусства. Элементы автоматики найдут применение и в инструментах непосредственного исполнения. Когда это не противоречит партитуре, музыкант-исполнитель может с помощью коммутационного устройства *КУ* переходить на автоматический режим управления некоторыми световыми параметрами (например, часто используют в инструментах фиксируемую связь "громкость – яркость"), с возможной коррекцией и полным переходом на автономное "ручное" управление [24].

Оставим за собой право мечтать: когда-нибудь кибернетическое устройство, уже равноценное человеческому мозгу, возможно, и сумеет само сочинять и музыку, и световую партию. Но пока, как отмечают исследователи, если говорить о звуковой музыке, машины моделируют "лишь нотные тексты, но не сам процесс композиции"[1] И, аналогично, в светомузыке автоматы могут моделировать лишь эффект светозвука в различных его проявлениях, но отнюдь не сам процесс светомузыкального творчества [25]

Итак, рассуждая о светомузыкальных устройствах, следует точно оговаривать, к какому виду их отнести.

Светомузыкальные инструменты (СМИ) имеют пульт управления и клавиатуру для исполняющего оригинальную световую партию, написанную специально для этого произведения.

Автоматические светомузыкальные установки (АСМУ) работают по заложенной в ее блок управления программе (постоянной или сменяемой, с имитацией творчества) Предназначены они для решения более скромных задач прикладного назначения (декоративные приставки к магнитофонам, радиолам, установки для оформления интерьеров, приборов для исследований в области психологии и экспериментальной эстетики).

В книге основное внимание, как уже отмечалось, уделено СМИ. Но, даже если оставить в стороне проблему АСМУ, оказывается существуют еще иного рода особен-

---

[1] Переверзев Л. Б. Искусство и кибернетика. – М.: Искусство, 1966, с. 101.

ности во взаимоотношениях между художником и техникой, которые отличают СМИ, положим, от всем известной аппаратуры кино и телевидения. Вы не задумывались над таким вопросом: само понятие "светомузыка" появилось намного раньше, чем "кино", а реально киноискусство уже давно обогнало светомузыку в своем развитии. Каковы причины этого парадокса? Некоторые теоретики искусства видят здесь несовершенность и даже несостоятельность самой идеи светомузыкального синтеза. Но реально объяснение заключается в другом.

Функция техники в новых изобразительных искусствах (см. рис. 3) вполне определенна – запоминать, тиражировать, репродуцировать и транслировать то, что уже есть в наличии, т. е. в самой действительности. Кинокамера, телекамера, фотоаппарат, микрофон имеют перед собой либо живую натуру, человека-актера, либо произведения других, традиционных видов искусства (собственно сам художественный процесс связан здесь с выбором объекта съемки и последующим монтажом зафиксированного материала). И чем точнее выполнены функции записи, репродукции, тем более совершенной считают технику этого класса искусства. Специфика этих функций обязывает предельно унифицировать и стандартизировать аппаратуру с тем, чтобы фильм, снятый, к примеру, в Москве, можно было показывать в любом городе и поселке, чтобы теле- и радиопрограммы воспроизводились одинаково всеми приемниками планеты.

Иначе обстоит дело с выразительными искусствами. Функции техники здесь не ограничены лишь записью, репродукцией, трансляцией. Так, в электронной музыке очень часто и охотно используют такое новое качество, как свободное изменение тембра. Причем эти варианты тембра отличны от тембров звучания природных, традиционных инструментов. Если пианист, положим, принимает тембр своего инструмента как данность и может вовсе не знать физических основ звукоизвлечения этого тембра, то композитор электронной музыки чаще всего работает вместе с конструктором, предельно вникая в устройство инструмента. И чем теснее контакт с техникой – тем больше шансов добиться значительного художественного результата, более точного воплощения своего замысла. Показательно то, что инструменты для синтеза электронной музыки – так называемые синтезаторы – во многом уникальны, и если их тиражируют, то сравнительно небольшими сериями. И это является их специфической особенностью, так как количество "небывалых" тембров практически безгранично.

Еще теснее контакт художника с техникой при создании и эксплуатации светоаппаратуры, и не только применительно к светомузыке, но ко всем видам выразительных искусств Ведь задача здесь, как уже отмечалось, иная, нежели в кино и телевидении. На экране должно воспроизводить то, чему нет непосредственных аналогов в природе, что существует лишь в воображении художника. И поэтому аппаратуру, представленную на рис. 8, он использует иначе. В кино все элементы инструментария и связи между ними предельно унифицированы, фиксированы по назначению, и манипуляции оператора сведены к включению и выключению аппаратуры. Вмешательство художника в технику, замена узлов и т.д. просто нежелательно. В светомузыке же наоборот, световой канал специально "расщеплен" на самостоятельные каналы управления по различным параметрам (рис. 9). И художник уже обязан вмешиваться в выбор и в работу не только каждого из этих узлов, но и тех элементов, что представлены на рис. 7. Изображение на экране. как мы увидим далее, зависит от таких "неожиданностей", как выбор нити канала, ее размеров, угла поворота, расстояния ее от линз, отражателя, трафаретов, светофильтров, от характеристик электродвигателей, экрана, блоков управления и мощности, пульта и т.д. Практически безграничное число степеней свободы в световом материале обусловливает практически неисчерпаемое число вариантов вмешательств в эти узлы. Таким образом, в картине динамической светоживописи, в отличие от обычной живописи, "палитра", "холст" и "кисть" слиты воедино! И художник, который как и во всех искусствах творит "в материале", здесь не только мыслит световыми образами, но и должен знать в мельчайших деталях, каким способом можно получить необходимые образы.

Именно поэтому во всех световых искусствах функции художника и конструктора неразрывны. И сам процесс создания светоинструмента являет собой, по сути дела, исходный, первичный акт творчества, воплощая в себе определенную художественную концепцию (определенный стиль, направление). Каждый инструмент, таким образом, уникален, подобно тому, как неповторимо любое произведение искусства. В этом убеждает вся реальная практика светомузыки предыдущих десятилетий во всех странах. Естественно, отсутствует поэтому и необходимость, и возможность унификации, стандартизации СМИ. Конечно, можно копировать многократно наиболее удачные СМИ. Но в этом случае пришлось бы повторять одинаковыми все узлы, вплоть до формообразователей с рисунком, и в результате будут получены одновременно и копии светомузыкальных композиций, заложенных в ВОУ данного СМИ. Если другой талантливый светохудожник захочет создать на базе этого СМИ свои светокомпозиции, он должен будет вновь заняться технической работой по изготовлению трафаретов, смене узлов и т.д. Так что создание любой новой светомузыкальной композиции отнюдь не сводится просто к "новой" игре на клавишах, необходимо заранее вложить всю программу появления этой светокомпозиции в имеющееся ВОУ. А само нажатие на клавишу есть не что иное, как всего-навсего извлечение из памяти этого ВОУ того, что было подготовлено в нем светохудожником. Таким образом, полной унификации здесь получить нельзя, хотя дифференциация по определенным классам СМИ уже складывается.

Подобная ситуация необычна для художественной культуры. В условиях сложившейся специализации профессий и производства такого слияния функций художника и конструктора в официальных рамках общество обеспечить в широких масштабах пока еще не может. Именно поэтому реальных результатов в области светомузыки во всех странах достигают или талантливые одиночки, способные выступать в этом "синтетическом" амплуа, или небольшие самодеятельные коллективы, где в тесном единстве работают музыканты, художники и инженеры. И не следует здесь стесняться слова "самодеятельность", оно отнюдь не является признаком чего-то легковесного, не есть противовес понятию "профессионализм". Наоборот, оно близко к самодеятельности в том понимании, как это мыслили классики марксизма-ленинизма, потому, что в подобной "синтетической" самодеятельности реализуются стремление и возможность всестороннего, гармонического развития личности, являющегося, как говорил К. Маркс, самоцелью общественного прогресса. И показателен уже сам факт развития светомузыки именно в наше время, когда социальный прогресс обеспечивает возможность пробиваться росткам этой "гармонической самодеятельности". По сути дела, само развитие таких форм искусства является одним из "индикаторов" вхождения общества в новую фазу своего развития. И каждый из вас, кто посвятит себя экспериментам в этой новой области целостного художественно-технического творчества, может гордиться тем, что является "разведчиком" будущего.

Но будущее не придет само, если не вкладывать труд в освоение того, что достигнуто различными науками, различными областями техники. Нам в рамках нашей комплексной проблематики придется начать с необходимых данных физики, светотехники, психологии. Затем закономерным будет переход к вопросам, связанным с радиотехникой, электроакустикой. И уже после этого, ознакомившись с описанием конкретных конструкций, можно будет вернуться к рекомендациям по художественному освоению возможностей светомузыкального инструментария.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

5. Выходное оптическое устройство

Казалось бы, ВОУ – самый простой в светомузыкальном устройстве блок. Именно эта простота и расхолаживает обычно конструктора, особенно, если он имеет смутное представление о художественной цели эксперимента. Именно она заставляет конструктора идти на невероятные ухищрения при разработке электронного блока и в то же время делает уверенным в том, что с ВОУ трудностей не будет.

Во многих технических статьях о светомузыке (например, в журналах "Радио", "Юный техник" и др.) даны подробнейшие схемы всех электронных узлов, иногда весьма сложных, а на выходе – три маленькие лампы. И больше о ВОУ – ни слова, как о чем-то второстепенном, необязательном. И радиолюбитель зачастую удовлетворяется добросовестным монтажом электронного блока и успокаивается на этом. Но ведь не этим же блоком должен любоваться зритель, а той красочной картиной, которая воспроизводится на экране ВОУ!

Именно этот узел требует наибольшего внимания конструкторов. Электронику же ни в коем случае не нужно превращать в самоцель. Она должна способствовать решению поставленных художником задач. Ведь существует немало СМИ, остроумных по своему конструктивному решению и впечатляющих по воздействию, в которых нет ни одного транзистора или электронной лампы. И наоборот, известны случаи создания сложнейших электронных установок, которые хорошо справляются с одной лишь задачей – раздражать зрение . . .

В лучших светомузыкальных устройствах электроника и светотехника выступают в единстве, в равной мере содействуя достижению необходимого художественного эффекта. Но, начиная работу над светомузыкальным устройством, прежде всего следует продумать конструкцию ВОУ, которая в большой мере определяет функциональную схему электронных узлов БУ и БУМ.

Материалом, которым пользуется в своем творчестве светохудожник, является цветной свет, организованный в определенные формы различной фактуры, изменяющиеся во времени. Рассмотрим действие простейшего элемента ВОУ – светофильтров, применение которых неизбежно при использовании источников света со сплошным спектром излучения (т. е. источников белого света). Встречаются, но очень редко, и случаи применения монохроматических источников света (лазеры, газоразрядные трубки, люминофоры).

Чтобы объяснить действие светофильтров, напомним некоторые сведения из колориметрии. В качественном отношении световые потоки могут отличаться по цветности, которая задается двумя параметрами – цветовым тоном и насыщенностью (чистотой цвета). Цветовой тон определяется длиной волны λ светового излучения, измеряемой в нанометрах. Насыщенность характеризует степень разбавленности цвета белым светом. Основные цвета, имеющиеся в природе, представлены спектром, наблюдаемым при разложении белого (солнечного) света призмой или дифракционной решеткой.

Теперь обратимся непосредственно к технике получения цветного света. Светофильтры как устройства, выполняющие эту функцию, должны иметь различные значения коэффициента пропускания τ_λ в разных зонах спектра. Наибольшее распространение при конструировании СМИ получили абсорбционные фильтры, т. е. такие, которые в зависимости от своего химического состава избирательно поглощают излучение одного цвета и пропускают другие цвета. Свойства светофильтра описывают кривые пропускания, показывающие как меняется коэффициент τ_λ по отношению к различным цветам.

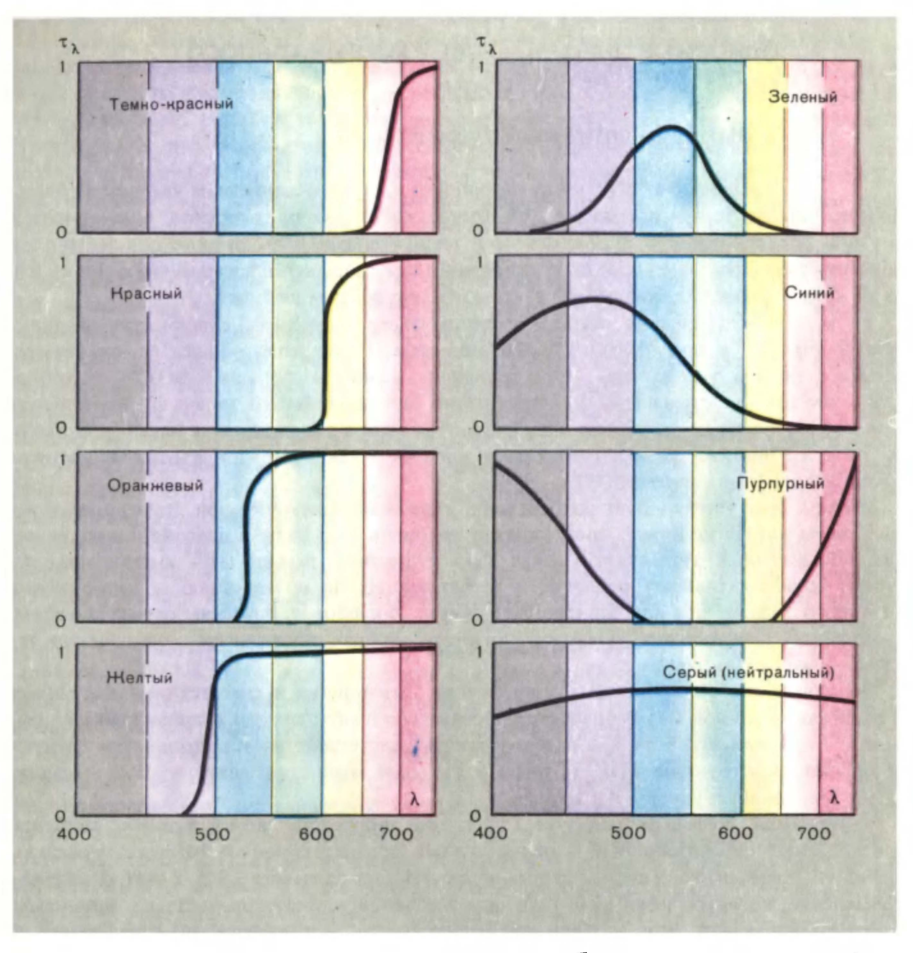


Рис. 11. Характеристики пропускания набора цветных стеклянных фильтров

Площадь, заключенная под кривой пропускания τ_λ, характеризует количество светового излучения, прошедшего через фильтр. Эта площадь, естественно, уменьшается, когда, стремясь добиться большей избирательной способности фильтра (т. е. большей насыщенности прошедшего света), увеличивают толщину и тем самым оптическую плотность фильтра. Для светомузыкальных установок лучше всего использовать стеклянные фильтры, выбранные по специальному каталогу цветного стекла, в котором указаны цветовые характеристики и кривые изменения τ_λ.

Чаще всего приходится применять стандартные театральные фильтры из стекла или пленки (их характеристики показаны на рис. 11). При нагревании стеклянные фильтры (особенно синие при использовании в качестве источника света лампы накаливания) сильно перегреваются и лопаются. Для предупреждения этого явления необходимо разрезать стекло на узкие полоски или принимать другие меры по охлаждению светофильтра. Выпускается весьма широкий ассортимент пленочных фильтров. Они выдер-

живают еще меньшую температуру, чем стеклянные, и при долговременной работе выцветают (особенно синие).

При отсутствии стеклянных или пленочных триацетатных фильтров можно изготавливать жидкостные – водные растворы анилиновых красителей в плоской кювете или фильтры из целлофана, окрашенного этими красителями. Радиолюбители изготавливают и фильтры из желатины. Размоченную и подогретую желатину окрашивают водным раствором анилиновых красителей, разливают на стекло и, высушив, снимают в виде тонкой, довольно хрупкой пленки.

Некоторые радиолюбители к проблеме выбора светофильтров относятся весьма небрежно, ограничиваясь окрашиванием ламп различными цветными лаками. Но их цветовые характеристики очень низки, имеют большой разброс, причем ассортимент их цветов невелик. Поэтому применение окрашенных ламп следует ограничивать простейшими АСМУ. При изготовлении СМИ лаки используют лишь в специфических ситуациях (ручное изготовление рисованных цветных слайдов и т. п.). Следует иметь при этом в виду, что многие лаки разного цвета при смешивании приобретают грязный оттенок. Поэтому лучше всего иметь как можно больше лаков чистых цветов, а если и рассчитывать на смешивание, то лишь с проверкой результата на стадии подготовки красителя.

Подобное смешивание красителей, цветных лаков, а также составление многослойных пленочных фильтров всегда связано с уменьшением интенсивности проходящего через них света. Ввиду того, что цветной свет получается здесь путем вычитания из белого, этот способ цветного смешивания называют субтрактивным (вычитательным). Но существует и другой способ смешения цветов – аддитивный, непосредственно на экране, когда на него подают световые потоки разного цвета. Яркость экрана, естественно, увеличивается, а результирующая цветность зависит от цветовых характеристик слагаемых потоков. Естественно, аддитивное и субтрактивное смешение цветов происходит по своим законам, что иногда упускают из виду при работе с цветом на палитре и на экране.

Одно из распространенных заблуждений любителей светомузыки – попытка получить все разнообразие цветов на экране суммированием трех основных цветов в разных пропорциях. Да, теоретически это возможно, но если только цвета взяты с максимальной насыщенностью (а ее могут обеспечить лишь лазер, высококачественные люминофоры и красители). Реальные же светофильтры для этих целей чаще всего непригодны, и суммирование всегда приводит к белесым цветовым смесям.

Поэтому многие конструкторы не ограничиваются трехцветными источниками света, а подбирают возможно большее число фильтров разных цветов и поочередно используют их без особого расчета на особенности аддитивного смешения. А если возникает необходимость изменения цвета по ходу действия определенного светового образа, то применяют сложные светофильтры, например в виде диска, составленного из узких секторов разного цвета. Если диск медленно вращать перед объективом диапроектора, то границы между секторами не будут заметными, и мы увидим на экране плавное изменение цвета по спектру.

Известны и другие методы плавного изменения цвета путем взаимного перемещения элементов составных фильтров или использования растровых фильтровых устройств. Можно получать цветовую динамику на основе эффекта хроматической поляризации – при этом цвет изменяется уже непосредственно с помощью электрического сигнала.

Следует иметь в виду, что цвет на выходе светофильтра зависит не только от вида кривой его пропускания, но и от характеристик самого проходящего через фильтр света. Во всех наших предыдущих рассуждениях имелось в виду, что через светофильтр пропускали белый свет. Большинство реальных источников излучает свет, в большей или меньшей степени отличающийся от того, что дает нам природное светило – Солнце.

А если смотреть шире, то выбирать источники света при создании ВОУ следует по

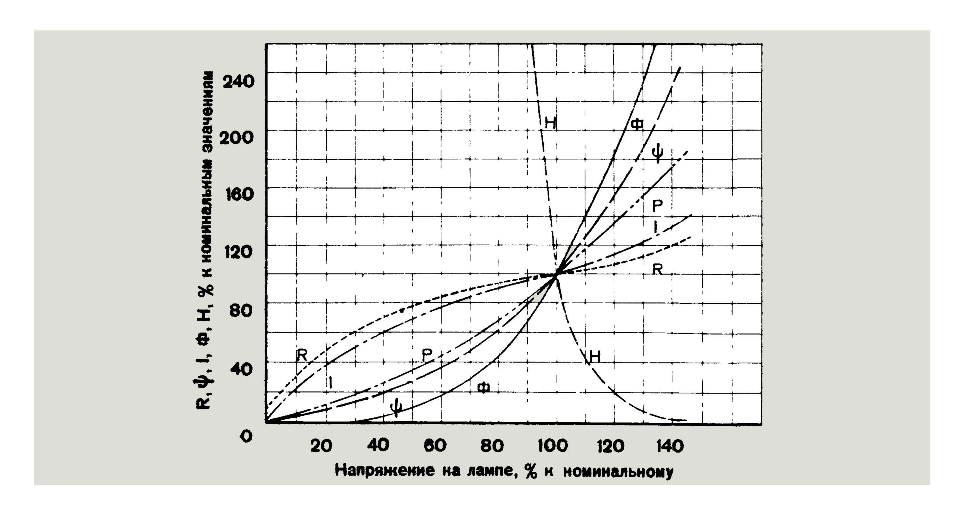


Рис. 12. Зависимость основных параметров ламп накаливания от напряжения

следующим основным признакам: по характеру излучения и его цветовым характеристикам; роду используемого тока; значению номинального напряжения $U_{ном}$; значению мощности $P_{ном}$ (и связанного с ней светового потока $Ф_{ном}$); световой отдаче ψ (т. е. отношению светового потока Ф к затрачиваемой для его получения электрической мощности P); вольт-амперной характеристике; инерционности; габаритам и форме светящегося тела (и связанной с этим кривой силы света). Следует также учитывать необходимость в пускорегулирующей аппаратуре и ее сложность, характер изменения светового потока от изменения напряжения (или тока), способы и пределы управления световым потоком, изменение цветовых характеристик при управлении световым потоком.

Для характеристики распределения мощности излучения по спектру используют масштабное отображение (чаще всего в относительных величинах) мощности излучения F_λ на той или иной длине волны (или в интервале волн $\Delta\lambda$).

Лампы накаливания – самые дешевые и распространенные источники света, имеют более тысячи наименований, различающихся по напряжению, мощности, габаритам, форме баллона, наполняющему их газу, формам цоколя и нити накала. Они не требуют специальной пускорегулирующей аппаратуры и почти все могут работать в любом положении. Средняя продолжительность работы H = 1000 ч. Нить накала некоторых ламп близка к точечной и может быть выполнена в виде сплошного светящего прямоугольника (кино- и прожекторные лампы). Световой поток можно регулировать от нуля до максимума изменением напряжения питания U. Характер изменения параметров P, I, Ф, ψ, H от напряжения U нелинейный (рис. 12).

Нелинейность электрических характеристик объясняется тем, что нить накала меняет свое сопротивление от температуры (у холодной лампы оно в 8–14 раз меньше, чем у горящей). С этим, кстати, связано явление броска тока при включении лампы. У ламп небольшой мощности нить невелика и нагревается быстро, в доли секунды (0,2 – 0,5 с). При включении же мощных ламп с массивной спиралью это время может достигать секунды.

Еще большая нелинейность световых характеристик объясняется законами теплового излучения, согласно которым суммарный поток излучения (а значит, и света в видимом диапазоне) увеличивается от температуры в степенно́й зависимости. Особен-

ностями теплового излучения объясняются и некоторые другие свойства лампы накаливания. малый энергетический КПД лампы, излучающей в видимой части спектра лишь 10% своей энергии; среднее значение световой отдачи ψ равно всего 13 лм/Вт[1]; сильное нагревание (более 100° C) баллона; большая разница в значении мощности излучения P_λ для красной и синей части спектра (рис. 13). И, наконец, главный недостаток – это изменение спектрального состава излучения лампы при изменении напряжения питания ("покраснение" свечения при уменьшении напряжения). Объясняется это тем, что максимум излучательной способности нити накала при разной температуре T приходится на разную длину волны $\lambda_{макс}$.

Несмотря на эти недостатки (многие из которых, кстати, можно в определенной мере скомпенсировать), лампы накаливания остаются пока основными источниками света для любительского светомузыкального конструирования. Поэтому полезно более подробно ознакомиться со всеми другими специфическими особенностями этих, казалось бы несложных, устройств для преобразования электрической энергии в световую.

Например, если поставлена задача получить ВОУ с малой инерционностью источников света, то лучше всего подойдут обычные осветительные сетевые лампы на напряжение 127 и 220 В. Если наоборот, необходимо, чтобы включение и выключение происходило с некоторой задержкой, более плавно, то для этой цели лучше всего подходят низковольтные лампы с толстой нитью. С уменьшением номинального напряжения связана и возможность уменьшения длины этой нити, т. е. приближение источника света к точечному. Из обычных сетевых ламп меньшие размеры нити у биспиральных. Для получения общей равномерной засветки экрана можно применять лампы с матовой колбой. Экономичны лампы с зеркальным (или матовым) отражающим покрытием, нанесенным на баллон вблизи цоколя: они излучают – в телесном угле 80° вдоль оси не менее 50% всего светового потока

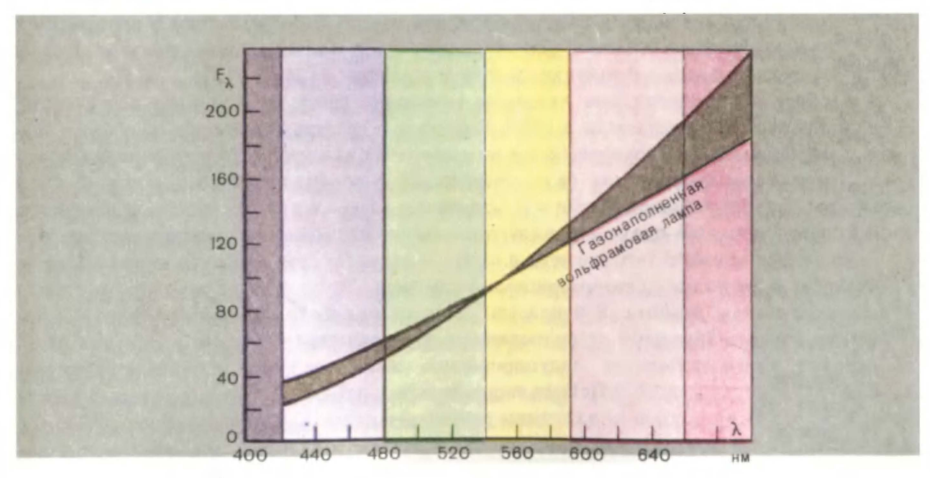


Рис. 13. Распределение энергии излучения в спектре семейства газонаполненных ламп накаливания

---

[1] Максимальное значение ψ для идеального источника равно 683 лм/Вт. Для ламп накаливания предел ψ = 50 лм/Вт, а реальный верхний уровень, достигнутый современными лампами накаливания с галогенным циклом, равен лишь 25–30 лм/Вт.

Применяемые обычно в быту лампы общего назначения разделяют на следующие группы: В — вакуумные, Г — газонаполненные, Б – биспиральные, К – биспиральные криптоновые. Эти лампы на напряжение 127 и 220 В имеют такую шкалу мощностей: 15, 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500 Вт (до 300 Вт цоколь Е-27, более 300 Вт – Е-40).

Кроме этого, выпускают лампы транспортные и специального назначения, среди которых можно найти источники света не только разной мощности, но и на разное напряжение питания, что особенно важно при использовании БУМ на транзисторах. Это лампы низковольтные местного освещения – МО, железнодорожные – Ж, судовые – С, автомобильные и тракторные – А, самолетные – СМ, прожекторные – ПЖ, кинопрожекторные – КПЖ, кинопроекционные – К, для маяков – ММ, сигнальные – СГ, миниатюрные низкого напряжения – МН и т. д. В мощных установках, предназначенных для подсветки зданий и для светозвуковых спектаклей на открытом воздухе, перспективно использование зеркальных ламп ЗК, ЗС и ЗШ, а также галогенных ламп с йодным циклом – КИ, КГ, КГМ, КИМ.

По конструктивному исполнению лампы накаливания различают по виду цоколя (резьбовой, штифтовый и т. д.). Например, Е-27 – резьбовой, диаметром 27 мм; 2Ш-15 – штифтовый, диаметром 15 мм, двухконтактный; 1Ф-С-22 – фокусирующий, секторный, диаметром 22 мм, одноконтактный.

Характеристики всех ламп накаливания, как, впрочем, и других, можно найти в специальных каталогах, например СИ-4 ("Светотехнические изделия"), и справочниках [28].

Люминесцентные лампы обладают большей, чем лампы накаливания, светоотдачей Ψ (40–60 лм/Вт), имеют хорошие цветовые характеристики, но неудобны для применения в СМИ из-за больших размеров и трудности управления яркостью. Последнее свойство присуще и ксеноновым лампам, хотя близость по спектру их излучения к солнечному свету, большая яркость при малых габаритах и делают притягательным их применение в СМИ. Конструкторы находят выход, используя их в мощных СМИ с оптикомеханическим регулированием яркости.

Для некоторых специальных световых эффектов в СМИ используют и импульсные газоразрядные лампы в режиме одиночных вспышек или стробоскопическом. Более полные сведения об этих источниках света представлены в [24, 25, 28].

Подробнее остановимся еще на одном источнике света, получившем в последнее время большое распространение в СМИ. Речь идет о лазерах, у которых излучение, индуцированное внешним энергетическим воздействием, в отличие от излучения обычных источников света, когерентное (т. е. согласованное по фазе и направлению). С этим свойством связана монохроматичность излучения лазера и возможность концентрации света в узкий луч. Для получения индуцированного излучения создается активная среда – ею может служить твердое тело или газ. Активную среду твердотельных лазеров возбуждают импульсными газоразрядными лампами. Такие лазеры работают в основном в импульсном режиме. В непрерывном режиме работают газовые лазеры. Здесь активную среду возбуждают генерированием электрического разряда в газе, при этом происходит последовательное индуцированное излучение уже когерентного света.

Коэффициент полезного действия твердотельных лазеров 1–2 %, а у газовых достигает 25 %. Газовые лазеры дают излучение различного цвета: аргоновый – синий (488 нм) и зеленый (514,5 нм); гелиево-неоновый – красный (632,8 нм). Красный свет излучает также лазер на криптоне. Именно эти лазеры пригодны для использования в ВОУ.

Следует иметь в виду, что разработчиков ВОУ лазеры пока привлекают не тем, что их когерентное излучение позволяет получать объемные изображения. Техника голографии, особенно для многоцветного подвижного изображения, вообще разработана еще весьма слабо. Да и нет для светомузыки принципиальной необходимости иметь именно объемное изображение. (Хотя можно наметить интересные направления – синтезирование искусственных голограмм с помощью ЭВМ и съемка их мультспосо-

бом, что позволит получать несуществующие в природе фигуры и движения.) И театральная светотехника, и светомузыка используют пока лазер лишь в качестве "фонаря". Правда, фонарь этот – со 100%-ной чистотой цвета и очень ярким узким лучом. И уже эти свойства сами по себе рождают броские, запоминающиеся эффекты – в ярком луче светится сам воздух (пылинки в нем, дым). А если пустить луч между зеркалами в объеме зала, все пространство заполнится паутиной стремительных линий.

Кроме того, свойство когерентности лазерного излучения проявляется для зрителя в том, что свет при отражении от экрана имеет своеобразную подвижно-зернистую структуру, похожую на переливающееся марево. Объясняется это явление сцинтилляции дифракцией и интерференцией света при отражении от поверхности экрана. Размер необычно мерцающего пятна можно регулировать помещением на пути луча отрицательных или положительных линз. Если лазерный луч неподвижен, он высвечивает на экране яркую точку, а при быстром движении вычерчивает тонкую линию (для этого достаточно управлять небольшим зеркальцем от руки). Интересный эффект получается при дополнительной модуляции яркости луча сигналом высокой частоты – линия распадается в штриховой рисунок. Этот прием можно применять также при осциллографической развертке луча, когда причудливые фигуры Лиссажу на большом экране превращаются в своеобразное ажурное кружево.

Можно использовать лазерный луч и в телевизионных системах воспроизведения. При этом необходимо учитывать, что в результате развертки световой поток лазера распределяется по площади, в миллионы раз превышающей площадь пятна от луча, а значит, экран не будет очень ярким. Например, для аргонового лазера с мощностью излучения 1 Вт (а это довольно мощный лазер) световой поток будет равным 300 лм. Если площадь экрана 3×3 м, коэффициент яркости 1, то, даже если допустить, что коэффициент полезного действия оптической системы равен 100%, яркость экрана не превысит 10 кд/м^2 (а это в несколько раз меньше нормы яркости экрана кино и телевидения).

Так же, исходя из распределения светового потока на экране, следует подсчитывать яркость изображения при управлении лазерного света просвечиванием преломляющих оптических сред (куска стекла, кристаллов, натеков прозрачных смол, кюветы с жидкостью и т. д.). При плавном перемещении этих оптических формообразователей на экране появятся подвижные образы, причем с большим количеством полутонов, создающих впечатление объемности изображения. Интересные эффекты получаются при пропускании лазерного луча через дифракционную решетку, с распределением луча в пространстве с помощью волоконной оптики. При необходимости управлять интенсивностью лазерного луча можно применять оптические клинья или (в системах с разверткой луча) модуляторы с использованием поляризационных световых клапанов. Большие перспективы открываются при освоении возможностей так называемого лазерного кинескопа, изобретенного советскими учеными.

Но во всех случаях использования лазера – это надо запомнить – необходимо исключить попадание луча, прямого или отраженного от зеркала, в глаза зрителей и исполнителей. Особую осторожность надо соблюдать при экспериментах в ходе конструирования лазерного СМИ.

Как мы видим из этого краткого обзора, лазер можно использовать в нескольких режимах формирования визуальных объектов – проекция самого источника света, наблюдение объекта в отраженном свете, проекция на просвет, как это показано на рис. 6, *а–в*. Для обычных же источников света основным является вариант *в*, в различных его модификациях представленный на рис. 7. Рассмотрим эти способы создания и использования формообразующих элементов в отдельности.

Если между источником света и экраном поместить непрозрачный предмет, то на экране возникает теневое изображение данного предмета. Конечно, теневая, или, как ее еще называют, транспарантная проекция, основанная на подобном принципе (в отличие от диапроекции и эпипроекции, использующих линзовую оптику), не позволяет

получать на экране четких изображений. Но возможностями этого простого в понимании и доступного в конструктивном решении способа формообразования отнюдь не следует пренебрегать.

Размеры тени A, как видно из рис. 14, зависят от расстояния между лампой и трафаретом следующим образом: $A/a = L/l$.

При малых l любое незначительное перемещение трафарета относительно источника света (или наоборот) вызывает заметные изменения размеров тени и ее движения. Степень размытости краев тени зависит от того, насколько близок источник света к точечному, т.е. насколько малы размеры светящей поверхности. Если размеры этой поверхности значительны, края изображения на экране будут размытыми. Особенно большой и заметной становится зона полутени при смещении источника света к трафарету.

Если нить накала имеет сложную форму и большие размеры, на экране могут возникать очень интересные полутени неожиданной конфигурации, причудливо меняющиеся от вращения и покачивания лампы. Но наблюдаемый процесс формообразования почти не поддается управлению, так как характер изменения форм жестко связан с конструкцией лампы. Однако, имея набор ламп с разными нитями, конструктор может выбирать необходимую, зная, какой световой эффект достигается от каждой из них. Только при использовании ламп с точечной нитью теневые эффекты предсказуемы и повторимы в любых условиях.

Особенно сильное искажение теней наблюдается при применении ламп с отражателем или с зеркальным покрытием на колбе. В некоторых случаях, при работе в режиме рис. 7, *б*, для увеличения степени причудливости получающихся теневых форм конструкторы сознательно выбирают такие лампы, причем с заведомо неточечной нитью. Американский светохудожник Т. Уилфред сам изготавливал лампы с особыми фигурными нитями.

Трафареты теневой проекции по своей конструкции могут быть самыми разнообразными (рис. 15). Все они основаны на общем принципе наложения теней. Цилиндрические (или конические) барабаны *2* с прорезями изготавливают из жесткого непрозрачного листового материала (дюралюминиевая фольга, бумага, электрокартон и т.п.) или из прозрачных пластиков и стекла, на которые наносят графический рисунок (рис. 15, *а–е*). Источники света *1* устанавливают или внутри барабана, или вне его – в этом случае свет проходит через трафарет дважды, что позволяет получить при вращении барабана встречное перемещение теней. Но, разумеется, тени от ближней к лампе зоны барабана будут очень размытыми и рисунка проекции они не определяют. Ось вращения может быть как горизонтальной, так и вертикальной, в зависимости от желаемого направления движения теней. Для простоты условимся неподвижный трафарет *3* называть далее статором, а подвижный *2* – ротором.

На рис. 15, *ж* показано, как формирует изображение дисковый ротор *2* в сочетании со статором *3* Интересный эффект получается при одновременном просвечивании такого трафарета несколькими источниками света, одного или разных цветов. Разнообразия и неповторяемости теней достигают совмещением двух вращающихся дисков (рис. 15, *з* иллюстрирует оба этих приема). Направление вращения дисковых роторов *2* чаще всего выбирают встречным. Если расстояние между дисками сделано минимальным, то резкость теневых изображений от каждого из трафаретов почти одинакова. Следует учесть, что при одной и той же угловой скорости линейная скорость движущихся теней будет различной: чем дальше от оси вращения, тем больше скорость. Частота вращения дисковых трафаретов (да и барабанных тоже) должна быть очень небольшой – 0,5–3 мин$^{-1}$. Для этой цели можно использовать любой редуктор с фрикционной, зубчатой или червячной передачей. Электродвигатели помещают или на оси вращения, или у края дисков (барабанов).

Фигурные отверстия в трафаретах высверливают или выпиливают по разметке, а в картонных или бумажных – выжигают или вырезают. При изготовлении плоских

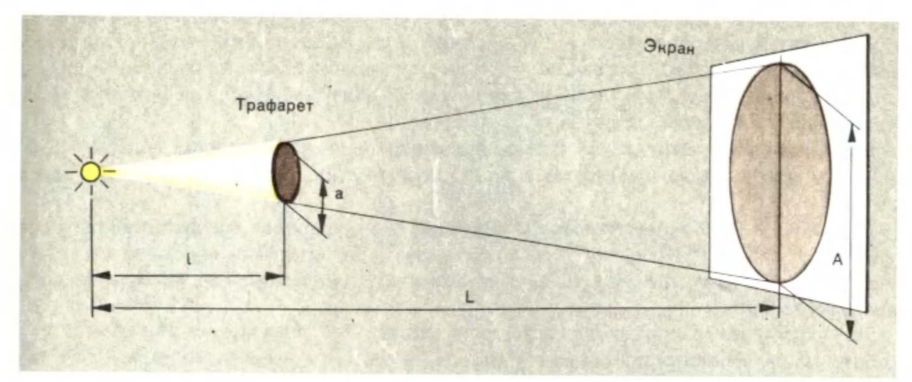


Рис. 14. Схема транспарантной проекции

Рис. 15. Разные виды теневых светоэффектных проекторов

трафаретов эффективен такой метод – стекло покрывают непрозрачной краской, которую затем снимают по контуру изображения. Если на стекле надо что-то нарисовать акварельными красками или тушью, его поверхность покрывают впитывающим слоем, например желатины или прозрачного цапонлака. Удобны для этой цели фотопластинки, обработанные в закрепителе.

Если возникают затруднения с высверливанием в стекле отверстия под ось вращения, то в центре диска приклеивают переходную втулку, которую насаживают на конец оси.

Дисковые и барабанные трафареты получили самое широкое распространение у разработчиков светоинструментов. Опыт показывает, что оптимальным является совмещение этих методов, что, кстати, подтверждается многолетней практикой их использования в театре[1].

Диапроекция предполагает наличие уже специальной аппаратуры. Изготовить ее в любительских условиях довольно сложно, да, вероятно, и нецелесообразно. Существует большое число разновидностей фильмоскопов, диапроекторов ("Этюд", "Свет", ЛЭТИ, "Протон", "Альфа", "Свитязь", "Диана", "Пеленг", "Киев") и кинопроекторов, которые после небольших переделок могут быть использованы в качестве ВОУ светомузыкальных устройств.

Принцип диапроекции объясняет рис. 16.

Размеры диапозитива *а* и изображения на экране *А* связаны друг с другом соотношением: $a/A = f_0/L$.

В зависимости от того, что является исходной величиной, можно определить или размер *А* при заданном *L*, или при этих известных длинах требуемое фокусное расстояние f_0 объектива.

В светомузыкальных устройствах вместо неподвижного диапозитива в фильмовом канале помещают подвижные трафареты, которые в отличие от трафаретов теневой проекции могут быть не только графическими и контурными, но и со всеми возможными светотеневыми переходами. Примеры их размещения между конденсором и объективом представлены на рис. 17.

В системе на рис. 17, *а* ось вращения трафаретов совпадает с оптической осью: трафарет закрепляют внутри охватывающего его кольца. Один диск-трафарет может работать на четыре оптические системы (рис. 17,*б*). В системе на рис. 17,*г* плоские трафареты совершают встречно-поступательные колебательные движения, а на рис. 17,*в* трафарет в виде бесконечной ленты перематывается вокруг двух валов. Варианты на рис. 17,*д* и *е* являются диапроекционными аналогами теневых проекторов на рис. 15,*а* и *ж*.

При использовании диапроекции особенно перспективно применение стеклянных трафаретов с изображением, полученным посредством фотомонтажа. Для этого на лист картона наклеивают фотоснимки минералов, жидких кристаллов, звездного неба, фрагменты репродукций абстрактных картин, орнаменты и т. д., объединенные в композиционно цельную последовательность. Этот коллаж переснимают на фотопленку, из которой затем и вырезают трафарет. Очень своеобразный эффект муара получается при наложении пленок с растровыми рисунками – точечными или линейными (обычно используемыми в полиграфии или так называемом оптическом искусстве). "Муаровый эффект" проявляется как появление крупных симметричных скоплений элементов мелкого растра. Вы сами сможете наблюдать его, двигая два сложенных вместе куска мелкосетчатой капроновой ткани.

Своеобразный эффект при диапроекции создают и рельефные трафареты, изготовленные из прозрачных материалов с неровной поверхностью, например декоративного стекла или литого пластика с ячеистой структурой поверхности.

В некоторых светомузыкальных устройствах используют набор плоских кювет с прозрачной жидкостью, в которую в необходимый момент впрыскивают краситель

---

[1] Бронников А. Театральные световые эффекты. – М : Искусство, 1962, с. 61–62.

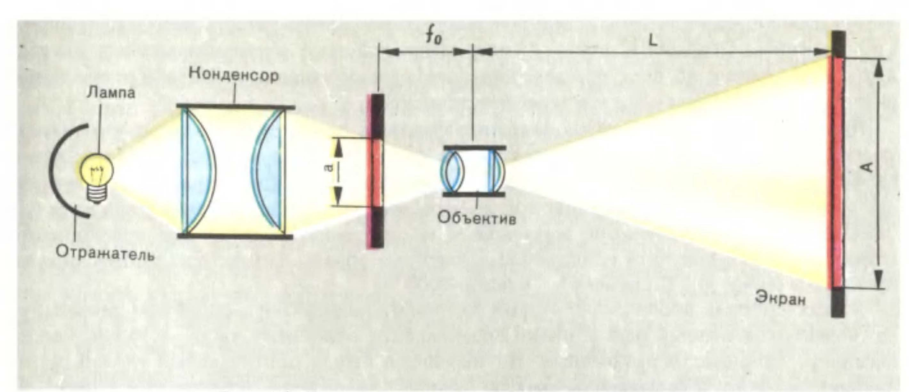


Рис. 16. Схема диапроекции

Конденсор
Отражатель
Объектив
Лампа
Трафарет
а)
б)
в)
г)
д)
е)

Рис. 17. Варианты расположения подвижных трафаретов при диапроекции

(тушь, аналин, чернила), что позволяет получать на экране разного рода взрывоподобные картины. Особый эффект создает взаимодействие несмешивающихся цветных жидкостей. Как и во всех предыдущих случаях изображение на экране относительно диапозитива воспроизводится в перевернутом виде.

При работе с жидкостями удобнее преобразовать проектор в перископ, чтобы кювета находилась в горизонтальном положении (рис. 18). В этом случае оператор может свободнее управлять состоянием "жидкого диапозитива". Смешивая разные красители, реактивы, окрашиваемые при соединении, или химикаты, заставляющие жидкость "кипеть", подгоняя вращение жидкости в кювете тонкой струей (из медицинского шприца), можно получить удивительные световые образы. Проекторы такого типа выпускаются серийно ("Полилюкс", "Лектор-2000").

В этих приемах проявляется стремление иметь диапозитив с рисунком, меняющимся по желанию исполнителя. Однако возможности описанных выше методов, как это очевидно, довольно ограниченные. Но инженеры нашли оригинальный способ, позволяющий получать в буквальном смысле "живой" диапозитив, изменяемый в очень широких пределах. Этот диапозитив изготавливают из веществ, которые меняют свои оптические свойства под действием электронного или ультрафиолетового луча. Диапозитив помещают, как обычно, поперек оси оптической системы. Под небольшим углом к оси на него направлены электронные прожекторы (такие же, как в кинескопе) или ультрафиолетовый лазер. Точка на диапозитиве, на которую падает луч, перестает пропускать свет, но стоит луч убрать, как она становится снова прозрачной, – именно поэтому такую технику называют светоклапанной. Сканируя последовательной разверткой луча поверхность диапозитива и модулируя луч, можно получить любое желаемое изображение. По такому принципу работает большинство проекционных телевизоров. Конечно, радиолюбителю не под силу создание подобного проектора, но более простые системы светоклапанного управления, прежде всего с использованием поляризованного света, вполне доступны для школьных, а тем более вузовских лабораторий.

Самостоятельным приемом формообразования является использование подвижных зеркал (плоских, выпуклых, вогнутых), линз и другого рода деформирующих изображение элементов, помещаемых на пути луча. Поворотом легких зеркал, установленных на пути луча, можно перемещать изображение по экрану при неподвижном проекторе. Большие возможности заложены в применении в ВОУ лавсановой зеркальной пленки.

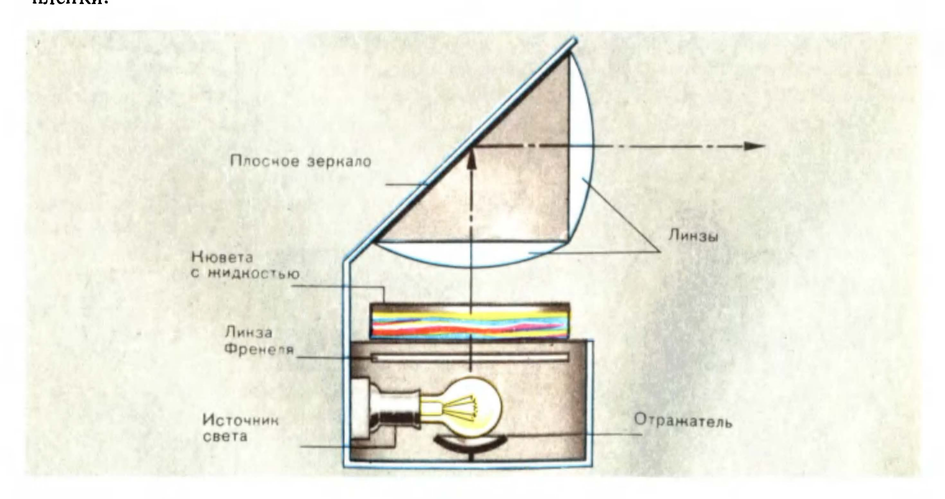


Рис. 18. Схема диапроектора с поворотом луча

В подобных случаях трудно давать теоретические рекомендации, и конструктор чаще всего вынужден полагаться на эксперимент, в ходе которого из всех получающихся световых эффектов отбирает нужные. Совмещение их с возможностями транспарантной и диапроекции позволит ввести столь необходимое для световой композиции ощущение движения света в глубину и изменения фактуры изображения.

Без использования кривых зеркал, подвижных линз очень трудно получить вихреобразные перемещения светотени, трудно получить и плавное "перетекание" одной пластической формы в другую. Без всего этого плоскостное движение теней на экране обычно начинает утомлять, каким бы сложным и разнообразным рисунок ни был.

Каждый конструктор может дополнить, развить этот перечень приемов. Существенную помощь окажет изучение и использование светотехнической аппаратуры, применяемой обычно в театре. Промышленность выпускает так называемые эффектные приставки к стандартным театральным диапроекторам. В приставке ПРЭ-1 находится один дисковый трафарет, установленный так, как показано на рис. 17,*е*. Приставка УПП-ЭФ содержит два соосных диска, вращаемых или встречно, или в одном направлении с разной скоростью (можно просвечивать трафареты через два объектива) : ПП-2 работает по схеме, изображенной на рис. 17, *г*; ПРЭ-3 – по схеме рис. 17, *д*; ДП-3 – по схеме рис. 17, *в*. К ним прилагают стандартные наборы трафаретов для получения изображения подвижного пламени, снега, туч, дождя, мерцающих звезд, волн. Изобретательные художники воспроизводят с их помощью взрывы, фейерверки, облака пыли, луну [17]. Терпение плюс воображение – и эти приборы превратятся в ВОУ светомузыкальных инструментов, создающие световые эффекты, которым уже трудно дать словесные описания. . .

Вполне вероятно, что у некоторых читателей может возникнуть сомнение: "Разве все это может иметь отношение к высокому искусству – кюветы с жидкостью, лампы, трафареты, моторы?" Но тогда как объяснить наше неослабевающее внимание, наше волнение, когда скрипач водит туго натянутым конским волосом по овечьим жилам? А в кино – все те же лампы, моторы? . . . Пусть вас это не смущает. Главное в искусстве – не сложность и солидность применяемых средств, а как и для каких целей их используют.

Много полезного можно почерпнуть разработчику ВОУ и в таких периодических изданиях, как "Сценическая техника и технология", "Техника кино и телевидения", "Светотехника" (СССР) ; "Interscaena", "Acta scaenographica" (ЧССР) ; "Leonardo" (Англия) ; "International lighting review" (Голландия).

Рассмотрим теперь те устройства, которые приводят в движение формообразующие элементы.

Электрические исполнительные механизмы можно подразделить на три группы – соленоиды, электродвигатели и сельсины.

Соленоиды могут работать как на переменном, так и на постоянном токе. Однако соленоиды переменного тока имеют значительно худшие параметры (большие размеры, меньшую чувствительность, более жесткую характеристику управления и т. д.).

Двигатели в зависимости от конкретных целей и возможностей выбирают постоянного или переменного тока, с регулируемой или постоянной частотой вращения ротора, реверсивные или нереверсивные.

Коллекторные двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита имеют широкие пределы регулирования частоты вращения, небольшие размеры и массу. Это серии ДП, ПДЗ, ДПМ, ДПР. Так, например, у серии ДПМ в маркировке цифра означает диаметр корпуса в миллиметрах, а сочетание Н1 или Н2 – число выходных концов вала, с одного или обеих сторон корпуса (например, ДПМ-20-Н1). Напряжение питания двигателей ДПМ и ДПР – 6, 12 и 27В.

Наиболее распространены асинхронные двигатели переменного тока. Для наших целей целесообразно использовать однофазные конденсаторные двигатели серий УАД, ДАМ, ЭДГ, АКД, АДТ, ДАУ.

Синхронные двигатели переменного тока имеют высокую стабильность частоты вращения ротора (серии Г, ДС) и при питании от однофазной сети также требуют конденса-

торного включения. Изменение частоты вращения ротора возможно при изменении частоты питающего тока. Конструкторы ВОУ не всегда имеют возможность использовать этот способ регулирования из-за его сложности. Они чаще применяют редуктор в виде набора шкивов разного диаметра. Все эти двигатели обладают большой частотой вращения ротора – сотни и тысячи оборотов в минуту. Промышленность выпускает несколько серий двигателей со встроенным редуктором – асинхронные РД-09 (с частотой вращения выходного вала 192; 77; 30,8; 16,8; 8,75; 4,5; 2,5 и 1,8 $мин^{-1}$) и синхронные РС, ДСД и ДСМ (1,2, 15, 60 $мин^{-1}$).

Иногда требуется очень медленное вращение или перемещение элементов ВОУ с периодическими остановками – например, дискового или полосчатого светофильтра перед объективом диапроектора. В этом случае следует применять так называемые шаговые электродвигатели, преобразующие сигнал в виде импульсов в поворот вала на фиксированный угол (серии ШДА, ШДР, ШДИ; напряжение питания чаще всего 27 В). Угол (шаг) поворота ротора от одного импульса обычно равен 3–20°. Результирующий угол строго соответствует числу прошедших импульсов, которое задает коммутатор, работающий в комплекте с таким двигателем. Направление поворота вала связано с порядком переключения обмоток управления двигателя, а частота вращения зависит от частоты переключения.

Для медленного и плавного вращения линз, трафаретов, зеркал в ВОУ можно применять и сельсины. Эти индукционные устройства служат для передачи на расстояние углового перемещения (преобразованного в угловое механическим преобразователем). Между одним сельсином, задающим угол (датчиком), и другим (приемником) имеется дистанционная электрическая связь. Сельсины отличают по маркировке – БД и БС (или ДБС). Буква Б означает бесконтактный. Для контактных сельсинов – соответственно НД (или ДН) и НС. Один датчик может управлять несколькими приемниками.

Если перемещаемый элемент ВОУ не требует больших усилий, то возможна работа сельсина в индикаторном режиме, когда при повороте вала датчика (от руки, с пульта СМИ) вал приемника синхронно поворачивается на тот же угол. В противном случае необходимо использовать трансформаторный режим работы сельсина, в котором передаваемый по линии дистанционной связи маломощный сигнал усиливается и в итоге приводит в движение мощный сельсин-приемник. Вал приемника поворачивается до тех пор, пока угол рассогласования между датчиком и приемником не станет равным нулю. Следует учесть, что сельсины, рассчитанные на работу в сети с частотой 50 Гц, довольно громоздки. Малыми габаритами обладают сельсины, работающие на частоте 400 или 500 Гц.

Вся кропотливая, как в том убедился уже читатель, работа над ВОУ может быть сведена на нет, если у конструктора не хватит терпения выбрать наиболее подходящий экран, на котором будет воплощен в зримую реальность конструкторский, а затем и художественный замысел.

Экраны разделяют на два вида – прямой (фронтальной) и обратной (рир) проекции.

При фронтальной проекции непрозрачный экран освещается, как в обычном кино, из зала, со стороны зрителей. Разумеется, в этом случае целесообразно максимально использовать опыт кинопроецирования. В зависимости от конкретно поставленной задачи (условий демонстрации, размеров зала и т. п.) можно использовать экраны с различным видом рассеянного отражения.

Применение экранов с беломатовой поверхностью, обеспечивающей диффузное отражение, иногда может оказаться малоэкономичным. Зато для зрителя, сидящего в зале и, к примеру, на балконе, экран будет виден одинаково ярким. При использовании экранов направленного отражения зрители в зале будут в лучших условиях, чем сидящие на балконе. Интересный эффект создают так называемые жемчужные экраны, поверхность которых покрыта слоем мелкого стеклянного бисера. Столь же впечатляюща проекция на белый бархат.

Для предупреждения мешающей самозасветки, возникающей из-за возвращения на экран света, отраженного от потолка и стен, интерьер зала должен быть особенно оформлен, а все предметы со светлой и блестящей поверхностью удалены.

При рирпроекции изображение на полупрозрачный экран проецируют с обратной по отношению к зрителю стороны. Как и в случае отражающего экрана, здесь следует учитывать изменение яркости его поверхности от угла наблюдения. При работе с материалами, у которых это изменение резко выражено, на просветном экране появляется так называемая "горячая точка", передвигающаяся вместе со зрителем, меняющим угол наблюдения. Это искажает изображение и вместе с тем ставит в неравноценные условия зрителей, находящихся в разных местах зала. Поэтому необходимо или пытаться экран сделать более плотным, что часто уменьшает его общую яркость, или ограничивать угол наблюдения.

Подбирая материал для экрана рирпроекции – а им могут служить органическое стекло, папиросная бумага, бумажная и лавсановая калька, шелк, обработанный специальным составом (например, глицерин с тальком), аркозоль и разные пластиковые пленки широкого потребления, обработанные наждачной бумагой, меняя толщину этих материалов, по различному комбинируя их, можно получать различные эффекты [30, 34].

Способ рирпроекции применяют иногда в кинемотографе, еще чаще в театре, в рекламе, на выставках. В светомузыкальных же установках, особенно в камерных и индивидуального назначения, он особенно удобен. В чем же заключаются его преимущества?

При этом способе проекции не видны сами источники света или луч, идущий от них к экрану. Зрители не могут помешать демонстрации. И главное, если качество фронтальной проекции сильно зависит от посторонней засветки, что не позволяет сочетать ее с актерской игрой и другими действиями, требующими введения дополнительного освещения, то рирпроекция свободна от этого недостатка. Коэффициент отражения экрана со стороны зрителей должен быть как можно меньшим.

Недостатком же рирпроекции является необходимость пространства за экраном – шахты, длина которой должна быть особенно значительной при использовании диапроекторов. Ее можно сократить с помощью оборачивающих зеркал.

Частным, специфическим случаем рирпроекции являются светомузыкальные устройства с подсвечиваемым изнутри объемным экраном, выполненным в виде сферы, кристалла, растрового поля из стеклянных труб или стержней и т. п., что применимо, в основном, при сопровождении музыки бесформным светом.

Иногда светомузыку исполняют в обычных помещениях с плоскими экранами (светотеатр Т. Уилфреда, А. Ласло, Ф. Бентама, залы в Харькове, Москве, Ужгороде, студия светомузыки в казанском Доме молодежи). Но наилучшие условия для ее демонстрации могут быть, вероятно, созданы в специальных залах, в которых экран не плоский, а сферический, охватывающий зрителя со всех сторон, как это мечтал видеть Скрябин, предполагал строить Гидони, предлагает сделать Шеффер во Франции, и что неоднократно было реализовано на временно действующих выставках (ЭКСПО-58, ЭКСПО-67, ЭКСПО-70, ЭКСПО-75, ЭКСПО-85).

В определенной мере была воплощена в жизнь мечта Скрябина в Московской студии электронной музыки, где в свое время функционировал зал в четверть сферы вместимостью 30–50 человек. Сотрудники СКБ "Прометей" убедились в перспективности скрябинской идеи лет 20 назад, пытаясь приспособить для исполнения светомузыки помещение планетария. На основе этого опыта СКБ совместно с архитекторами Казани разработало проект эллипсоидного по форме зала со свободной пространственной динамикой звука, который совместно со световыми эффектами может описывать "линии" на плоскости экрана (см. рис. 80). Пробные светоконцерты начали проводить недавно в Московском планетарии [45].

Усвоив основные сведения об источниках света, светофильтрах, экранах, можно по-

пытаться установить значение электрической мощности P источников, обеспечивающее требуемую световую мощность.

Коэффициент полезного действия оптической системы $k_{опт}$ определяется отношением полезно используемого светового потока $\Phi_{пол}$ к потоку Φ, излучаемому лампой. Отсюда если известна световая отдача Ψ источника света, то значение используемого потока

$$\Phi_{пол} = k_{опт}\,\Phi = k_{опт}\,\Psi P \qquad (1)$$

и яркость B, кд/м^2,

$$B = \frac{1}{\pi}\eta_\alpha E = \frac{1}{\pi}\eta_\alpha \frac{\Phi_{пол}}{S} = \frac{k_{опт}\,\Psi\,\eta_\alpha P}{\pi S}. \qquad (2)$$

Здесь η_α – коэффициент яркости экрана, зависящий от угла наблюдения α; E – освещенность, лк; Φ – световой поток, S – площадь, м^2, P – электрическая мощность, Вт.

При транспарантной проекции, если считать источник света точечным, $k_{опт}$ определяется отношением телесного угла ω, в котором заключен $\Phi_{пол}$, к 4π.

При диапроекции $k_{опт}$ обычно равен приблизительно 5–8 %, т. е. можно считать, что у лампы накаливания на каждый ватт электрической мощности приходится приблизительно 1 лм светового потока, дошедшего до экрана. При эпипроекции яркость еще в 10–15 раз меньше, что, по сути дела, и ограничивает область ее применения в ВОУ.

В обоих случаях не учтены потери в светофильтре и формообразующих трафаретах, влияние которых можно задать соответствующими коэффициентами пропускания. У трафаретов они зависят от структуры и плотности рисунка, у светофильтров – от их спектральной характеристики и толщины. К примеру, у театральных стеклянных фильтров толщиной 2 мм коэффициент пропускания τ для красного цвета равен 0,16, для желтого – 0,87, зеленого – 0,22, синего – 0,18.

Вообще же, так как светомузыкальные устройства еще не унифицированы и опыт в этой области еще невелик, конструктору пока приходится ориентироваться на аналогичные области техники, в которых подобная информация уже имеется и зафиксирована (кинематограф, телевидение, индикация). Но лучше всего для выбора уровня яркости экрана $B_{эк}$ руководствоваться более общими соображениями: при необходимости получить изображение с проработкой всех полутонов, контрастность изображения K должна быть не менее 100. Если при этом посторонняя засветка фона равна $B_ф$, то $B_{эк}$ должна быть не меньше 100 $B_ф$. Если достаточно проработки штрихового рисунка, то $B_{эк}$ = 25 $B_ф$ (предел для телевидения). Так что, ориентируясь на опыт индикации, телевидения, на конкретные светомузыкальные устройства, следует иметь некоторый запас по мощности в БУМ или при ограниченной мощности понижать любым способом уровень внешней засветки.

Если вопрос об абсолютных значениях яркости не имеет однозначного ответа, то различие относительных значений световых (и электрических) мощностей в различных цветовых каналах следует обязательно учитывать, что особенно важно при работе с лампами накаливания, у которых (см. рис. 12) мощность синего излучения, например, с λ = 480 нм в 6 раз меньше мощности красного с λ = 680 нм. Поэтому в канале синего света необходимо использовать более мощные лампы или заставлять лампы работать хотя бы с небольшим перекалом, что ведет к заметному посинению спектра излучения (но, увы, к такому же заметному сокращению срока службы лампы).

Учитывая эти и другие факторы для обычных стеклянных театральных светофильтров и ламп накаливания, красные и зеленые лампы надо брать приблизительно одной мощности, желтые и белые – в 2–3 раза меньше, а синие и фиолетовые – в 3–4 раза большей. Обычно вместо синих берутся светлосиние или голубые фильтры, что позволяет приблизить яркость этого канала к зеленому и красному.

Завершая эту главу, приведем краткие данные стандартной театральной светоаппаратуры, пригодной для использования в ВОУ.

Имеется ряд линзовых прожекторов, создающих световое поле разного диаметра: ПР-025-100, ПР-05-115М, ПР-05-150М, ПР-1-212М, ПР-3-250М (маркировка означает: ПР – прожектор, 025 – мощность лампы, кВт, 100 – диаметр светового отверстия, мм). Многие из этих приборов могут работать как диапроекторы в комплекте со съемными конденсорными обоймами ОСК-150 М и ОСК-200, а также с упомянутыми выше светоэффектными насадками. Прежде всего, это ПРУ-1-212МУ – универсальный), который совмещается с приставками ПРЭ-1М, ПП-2, УПП-ЭФ. Его модификациями являются прожекторы ПКП-1-250М (лампа ДКсШ-1000-2), ПрТЛ-1 (лампа КПЖ220-1000). Налажен выпуск специальных театральных диапроекторов, работающих со слайдами 13 × × 13 см: ДМ-1 (с галогенной лампой КГМ48-1000), ДТ-05 (с лампой КГМ-220-500).

Часть прожекторов изготавливают с устройствами дистанционного управления. В этом случае меняется их маркировка: ПРДУ-1-212М, ПРДУ-1-150М, ПРДУ-3-250М. Подобные прожекторы по сигналу с пульта можно поворачивать по горизонтали и вертикали (в случае необходимости вместе с устройством смены четырех светофильтров КУСС-4).

Не следует ожидать, что использование этих мощных и дорогостоящих приборов гарантирует получение требуемого результата. Скорее наоборот, конструктор должен внести свою долю изобретательности, чтобы превратить эти проекторы в выходное оптическое устройство СМИ, заставляя работать их в необычных краевых режимах.

Конструктор должен помнить, что простые по устройству транспарантные проекторы, очевидно, останутся основным элементом светомузыкальных установок. Диапроекция все же страдает налетом привычности, "фотографизма", "вещественности", в то время как теневая проекция в сочетании с подвижными линзами, призмами, зеркалами позволяет получить необычные, фантастические образы. Было бы непростительным снобизмом отказываться от огромных возможностей, заключенных в теневой проекции, открывающихся лишь терпеливому и пытливому уму. Следует ожидать, что сейчас, с появлением мощных низковольтных ламп серии ПЖ-24, лазеров, шаровых ксеноновых ламп и галогенных источников КГК и КГМ, будут разработаны промышленные приборы транспарантной проекции.

Когда-то композитор Гектор Берлиоз писал, что музыкальным инструментом можно считать любой звучащий предмет, не разрушающийся при издавании звука. Продолжив его шутку, можно отнести к светоинструментарию все, что светит и светиться – лишь бы при этом световые аппараты не разлетались на части при излучении световых проекций.

А если всерьез, эксперименты со всей этой мощной техникой необходимо проводить с соблюдением общепринятых правил безопасности. В еще большей мере это предупреждение относится к конструкторам самодельных установок домашнего пользования – осторожность здесь должна выходить за рамки соблюдения правил привычных радиолюбительских работ. СМИ с большим выделением тепла иногда собирают в небольших футлярах, подобно телевизорам. Светофильтры же и экраны чаще всего нетеплостойки и горючи. Чтобы не превращать светомузыкальное устройство в самодельную бомбу замедленного действия – заложенную в собственном доме, чтобы предохранить от выгорания светофильтры, кроме обязательных конвекционных отверстий, необходимо предусматривать принудительную вентиляцию. И вообще, перед тем, как запустить прибор в эксплуатацию, следует провести основательную проверку его "на горючесть".

6. Блок управления мощностью

Как уже отмечалось выше, БУМ является неотъемлемым элементом во всех цепях светового инструментария (см. рис. 9). Чтобы свободнее оперировать при выборе этого элемента, рассмотрим, какие существуют способы регулирования мощности.

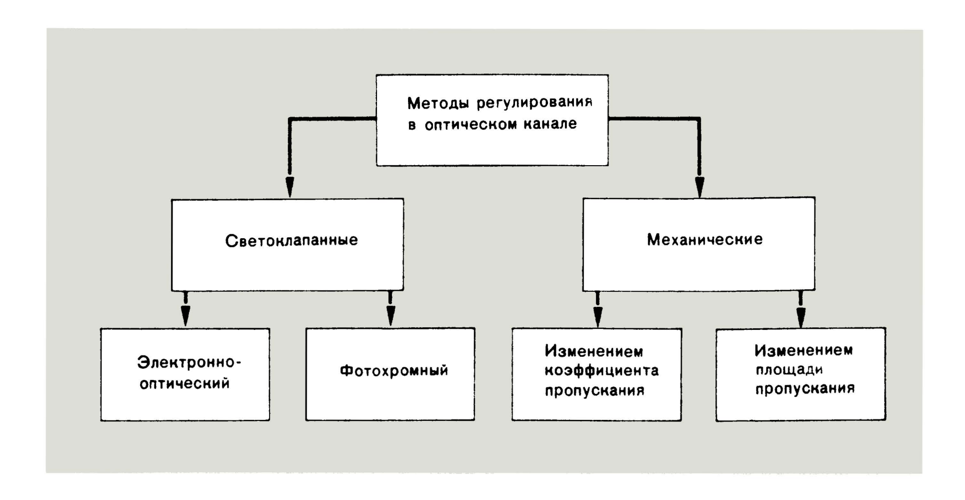


Рис. 19. Методы управления световым потоком

Источниками света и электрическими машинами можно управлять двумя способами: в электрическом канале и непосредственно на выходе устройства. Основные приемы управления световым потоком в оптическом канале указаны на рис. 19. Простейший "механический" способ – перекрытие светового луча круглой, щелевой или иного вида диафрагмой. Другой подобный прием – изменение коэффициента пропускания яркостного фильтра. Это или перемещаемый поперек луча оптический клин (а чаще – два движущихся встречно клина) или пара поляризаторов, вращающихся один относительно другого. Такие приемы известны уже давно. А появившаяся в последнее время светоклапанная техника позволяет, как уже отмечалось выше, изменять непосредственно сам коэффициент пропускания яркостного фильтра. В фотохромном способе этого достигают выбором материала, реагирующего на определенный вид излучения. Суть электронно-оптического способа состоит в том, что под действием электрической энергии меняются некоторые свойства материала фильтра – диэлектрическая проницаемость, коэффициент преломления, степень анизотропности и т. п. Оптическая система у световых клапанов построена так, что эти изменения визуализируются и предстают как изменения оптической плотности фильтра.

Все эти способы регулирования привлекают тем, что они не влияют на спектральную характеристику светового потока. Механический способ к тому же доступен и прост. При необходимости дистанционного управления в устройствах механического перекрытия светового потока могут быть использованы разного рода электрические машины весьма малой мощности, так как их функции – перемещать рычажки диафрагмы, поворачивать на пути луча листки фольги, вращать поляризаторы и т. д. – не требуют больших усилий. Правда, у этих механических устройств есть недостаток – инерционность. Но тем не менее они уже нашли применение в различных СМИ.

Рассмотрим теперь регулирование мощности в электрическом канале (рис. 20).

Простейший способ – использование трансформаторных регуляторов напряжения – обеспечивает управление мощности до нескольких киловатт (в основном вручную). Электрические усилители позволяют управлять значительной мощностью в цепи нагрузки с помощью очень слабых сигналов. Среди полупроводниковых усилителей транзисторы обеспечивают регулирование мощности до 2,5 кВт, тиристоры до 100 кВт. Верхняя реальная граница электронных усилителей на вакуумных лампах широкого применения 100 Вт, тиратрона примерно 10 кВт, магнитные усилители – сравнимы по мощности с тиристорами.

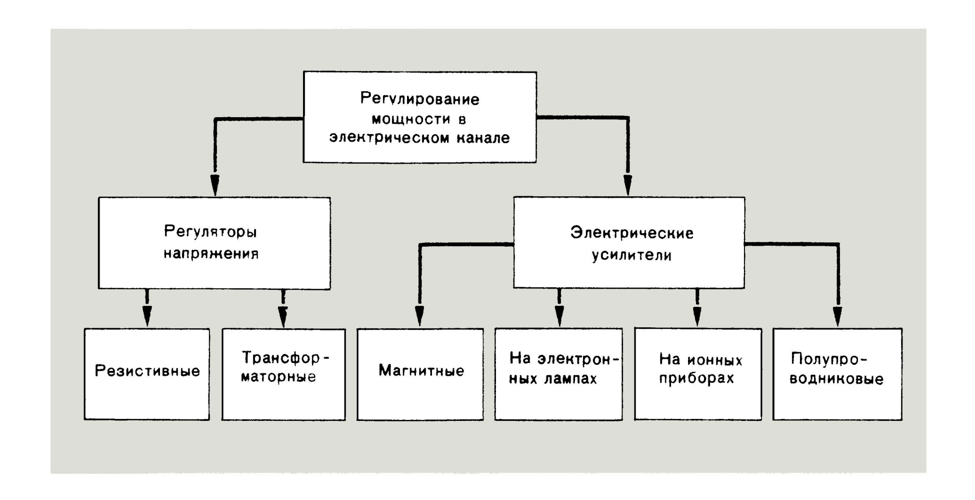


Рис. 20. Способы регулирования мощности в электрическом канале

Способы управления электрической мощностью можно разделить на два основных вида. Амплитудное регулирование – это изменение амплитуды напряжения или тока в нагрузке. Его реализуют посредством переменных резисторов, регулировочных трансформаторов, магнитных, электронных (в том числе и полупроводниковых) усилителей. Импульсное регулирование основано на периодическом прерывании тока, протекающего через нагрузку. При управлении источником света при частоте прерывания более 50 Гц из-за инерционности зрения и самого источника пульсации яркости становятся незаметными. Изменяя соотношение между временем протекания и отсутствия тока или, иначе говоря, меняя скважность импульсов, можно менять среднюю мощность, а следовательно, и яркость источника света или скорость электродвигателя. Импульсное регулирование реализуют с помощью тиратронов, тиристоров, электронных ламп, транзисторов и магнитных усилителей, работающих в ключевом режиме.

Этот вид управления позволяет полностью использовать энергетические возможности электронных приборов за счет снижения рассеиваемой на них мощности, однако по схеме БУМ получается сложнее, чем при амплитудном регулировании. Кроме того, при большом токе из-за крутых фронтов и спадов импульсов эти регуляторы создают значительные сетевые и радиопомехи, для борьбы с которыми необходимы тщательная экранировка всего устройства и применение заградительных фильтров на входе и выходе БУМ.

После этого краткого обзора следует указать на особенности управления различными источниками света и электрическими машинами.

Для ламп накаливания одинаково пригодны и амплитудный и импульсный методы управления мощностью. Из-за возникновения бросков тока при включении этих ламп БУМ в течение некоторого времени должен выдерживать ток, значительно превышающий номинальный. Это особенно необходимо учитывать в случае применения приборов с малой перегрузочной способностью (транзисторов, тиристоров). Это же явление существенно усложняет расчет импульсных регуляторов. При уменьшении длительности импульсов среднее значение мощности, подводимой к лампе, невелико, следовательно, нить работает при пониженной температуре и сопротивление ее падает. Так как при этом амплитудное значение напряжения в импульсе сохраняется, амплитудное значение тока заметно возрастает (в 2–3 раза) по сравнению с номинальным. Предупреждению

этих неприятных явлений способствует подпитывание ламп пороговым напряжением $U_{пор} \approx 10 - 15\ \%\ U_{ном}$, когда нить накала уже нагрета, но еще не светится: $R \approx (2 - - 3)\ R_0$ [28].

Для изменения яркости люминесцентной лампы также используют оба метода регулирования. Регулирующее звено включает в сеть последовательно с лампой и балластной нагрузкой. На постоянном токе после зажигания лампы ее яркость можно изменять обычным реостатом от максимальной до определенного нижнего предела, за которым ее горение становится неустойчивым. В качестве балластного звена используют резистор. При подключении к источнику переменного тока в лампе в каждом полупериоде происходит очередное возникновение разряда. В этом случае балластной нагрузкой служит дроссель (при замене дросселя резистором отдача уменьшается почти вдвое, и для восстановления яркости необходимо увеличивать напряжение).

У ксеноновых ламп и при амплитудном, и при импульсном управлении мгновенное значение тока не должно опускаться ниже определенного значения – тока гашения. Поэтому уменьшать световой поток до нуля приходится посредством диафрагмы.

У импульсных ламп, работающих в стробоскопическом режиме, можно управлять средней мощностью излучения увеличением частоты следования вспышек. Но следует иметь в виду, что превышение некоторой предельной частоты сопряжено с уменьшением энергии каждой вспышки, а далее – с появлением самопроизвольных вспышек.

Управление интенсивностью лазера осуществляется с помощью специальных безынерционных фотоэлектронных модуляторов, позволяющих изменять интенсивность луча согласно любой частоте управляющего сигнала.

Обратимся теперь к особенностям управления исполнительными механизмами. Для соленоидов изменение направления тока в обмотке не влияет на характер работы. Способ регулирования мощности может быть любым. В зависимости от конструкции характеристика соленоида может быть линейной или нелинейной.

Частотой вращения ротора электродвигателей постоянного тока управляют регулированием мощности либо в цепи ротора, либо в цепи обмотки главных полюсов при постоянном напряжении на роторе. Причем для роторного управления подходят и амплитудный и импульсный способы регулирования. Импульсное регулирование в сочетании с механическим или электрическим торможением обеспечивает высокую стабильность и точность работы.

Для асинхронных двигателей применяют амплитудный и фазовый способы управления частотой вращения ротора. При амплитудном управлении частота зависит от напряжения на обмотке возбуждения, при фазовом – от сдвига фаз токов в обмотках возбуждения и управления. Сдвиг фаз обеспечивает фазорегулятор. Этот способ по сравнению с амплитудным обеспечивает большую линейность регулировочной характеристики при постоянной жесткости механической характеристики.

Рассмотрим основные виды БУМ, ограничивая обзор полупроводниковыми узлами (другие применяют сейчас в СМИ довольно редко; подробнее о них можно узнать в предыдущих изданиях [24, 25]).

Среди транзисторных БУМ наибольшее распространение в практике СМИ получили блоки, работающие в импульсном режиме. В них управляющий сигнал с выхода детектора преобразуется широтно-импульсным модулятором (ШИМ) в импульсы с переменной длительностью, соответствующей управляющему напряжению. Сформированные импульсы после усиления мощности поступают к источникам света. Если частота следования импульсов находится в пределах 50–400 Гц и фронты импульсов крутые, рассеиваемая на транзисторах мощность определяется, в основном, сопротивлением транзисторов в режиме насыщения.

Тиристор – это полупроводниковый аналог тиратрона, применяемый для импульсного управления мощностью в цепях переменного тока. Тиристор выбирают по среднему значению тока в нагрузке и значениям прямого и обратного напряжений. Предель-

ные значения тока и напряжения тиристора сильно зависят от эффективности отвода тепла от его кристалла, поэтому важно обеспечить его надежное охлаждение.

Тиристором, как и тиратроном, управляют, изменяя время подачи напряжения на управляющий электрод относительно начала полупериода питающего напряжения. После открывания тиристора цепь управления уже не влияет на его состояние, поэтому в качестве управляющего можно применять пульсирующее или импульсное напряжение. Обычно используют один из четырех основных способов управления тиристорами: амплитудный, фазовый, фазо-импульсный и так называемый вертикальный[1].

Удобнее использовать в БУМ симметричные тиристоры – симисторы, которые позволяют пропускать и блокировать ток любой полярности при одном и том же управляющем напряжении. Симистор является совмещением в одном корпусе двух встречно-параллельно включенных тиристоров. Схемы включения симисторов не отличаются от тиристорных, но здесь требуется бóльший ток в цепи управляющего электрода.

В настоящее время в связи с появлением новых полупроводниковых приборов, появилась возможность упростить схемы управления тиристорами. В качестве управляющего элемента широкое распространение получил однопереходный транзистор или, как его еще называют, двухбазовый диод – своеобразный аналог тиратрона тлеющего разряда. Схема БУМ с его использованием приведена на рис. 21.

Разработанный в СКБ "Прометей", этот БУМ долгое время использовался в различных установках как основной модульный элемент управления яркостью. Управляющее напряжение может быть двух типов: переменным и постоянным. В первом случае его подают через согласующую цепь *C1R1* и диод *VD1* на базу усилительного транзистора *VT1*. Во втором случае – на элементы *R3R5* резистивного моста *R2* – *R5*, в диагональ которого и включен диод *VD1*. Изменяют уровень напряжения смещения в делителе *R4R5* переменным резистором *R10*, приоткрыв или, наоборот, закрыв транзистор *VT1*. В зависимости от этого изменяется время заряда конденсатора *C4* до уровня открывания однопереходного транзистора *VT3*. В этот момент конденсатор *C4* разряжается через этот транзистор и обмотку *I* импульсного трансформатора *T1*. Формируемый в обмотке *II* импульс открывает тринистор *VS1*, последовательно с которым включена лампа *EL1*. Возможен и комбинированный способ управления: постоянным напряжением с резистора *R10* задают исходный постоянный уровень свечения нити накала лампы *EL1*, а изменяющимся по амплитуде переменным напряжением моделируют яркость лампы. Переменные резисторы *R10* – R_k выносят на переднюю панель пульта управления БУМ и ими управляют уже дистанционно яркостью ламп ВОУ.

Узел управления синхронизирует с частотой сети переменного тока посредством ступени на транзисторе *VT4*, работающей в ключевом режиме. На базу транзистора подают пульсирующее напряжение с блока питания БП, а с коллектора снимают прямоугольные импульсы, которые после дифференцирования идут на базу синхронизирующего транзистора *VT2*. В момент прихода синхроимпульса – в начале каждого полупериода – транзистор открывается, разряжает конденсатор *C4* и возвращает весь узел управления тринистором в исходное состояние.

Число регуляторов R_k равно числу каналов управления. Переменным резистором *R11* устанавливают начальную пороговую яркость во всех каналах одновременно. Тринистор *VS1* и лампа подключены к выходу выпрямительного моста *VD2* – *VD5*. Если их включить без моста, следует выбирать лампы накаливания на напряжение 127 или 110 В. Лучше всего в узле использовать симистор. Схема БУМ остается при этом без изменений.

Необходимо помнить, что тиристоры обладают чувствительностью к токовым перегрузкам. Если трехкратное повышение номинального значения тока нагрузки они могут выдерживать в течение целой секунды, то при коротком замыкании нарастание

---

[1] Эти способы подробно описаны в статье Крылова В. Методы управления тиристорами. – В кн.: В помощь радиолюбителю, вып. 43, М.: ДОСААФ, 1973, с. 44–54.

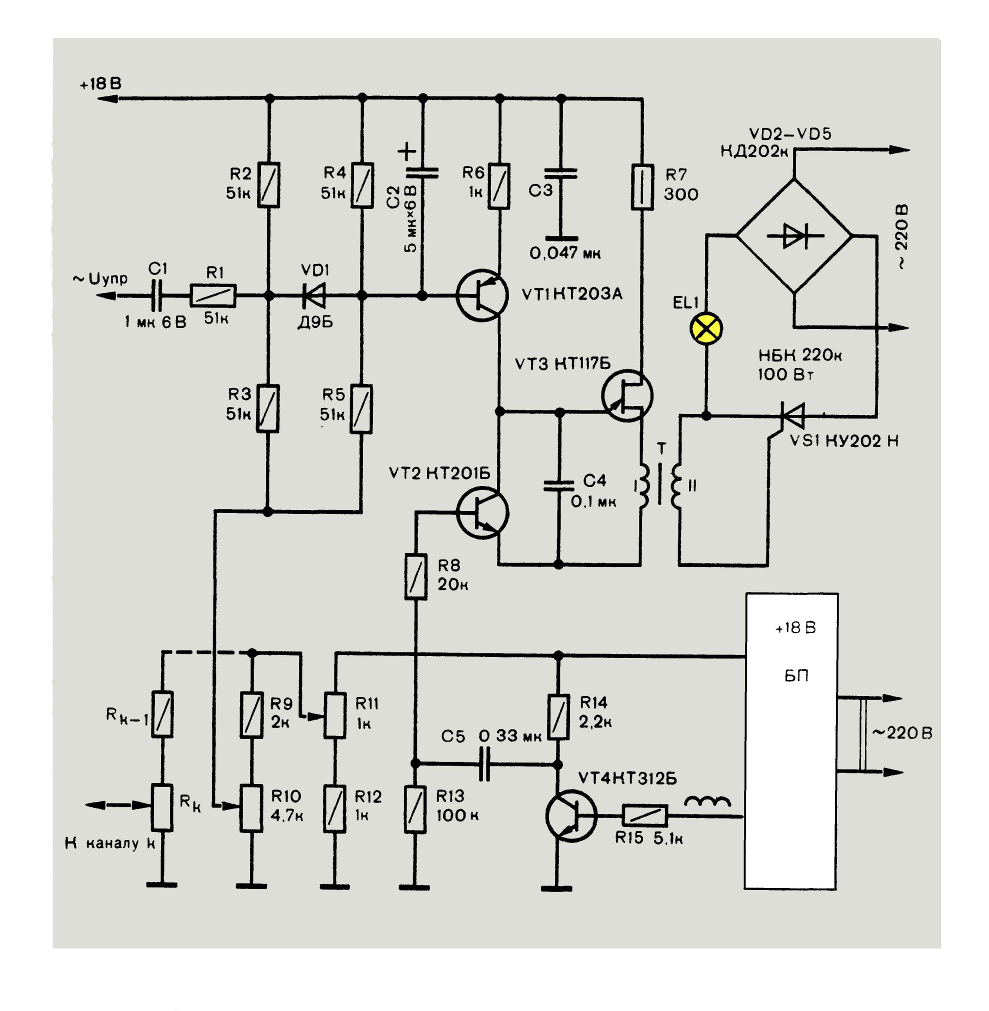


Рис. 21. Схема узла управления тиристором на однопереходном транзисторе

тока за полпериода (сотые доли секунды) приводит к пробою тиристора. Обычные плавкие предохранители не успевают сработать за столь короткий промежуток времени. Защищают тиристоры от короткого замыкания путем автоматического их закрывания с помощью реле максимального тока (токовый трансформатор на выходе БУМ и т. п.) или быстродействующими плавкими предохранителями.

Существенно облегчить работу над СМИ может использование готовых серийных тиристорных световых регуляторов бытового назначения (например, "Светон-300", с выходной мощностью 300 Вт). Для мощных светомузыкальных установок коллективного пользования могут быть применены промышленные тиристорные БУМ серии РТ, предназначенные для регулирования источников света в театре [16, 41, 45]. При оснащении специальным устройством защиты от пусковых импульсов тока, возникающих при включении ламп накаливания, в качестве БУМ можно использовать и регулято-

ры серий РНТО, предназначеннные для управления электроприводом. Краткие характеристики всех этих регуляторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Регулятор	$U_{сети}$, В	$U_{нагр}$, В	$I_{нагр}$, А	$P_{вых}$, кВт	$U_{упр}$, В
РТ-3-220	260	220	13,5	3	0–6,5
РТ-5-220	260	220	22,5	5	0–6,5
РТ-10-220	260	220	45	10	0–6,5
РНМ-3	220	214	14	3	0–5
РНТ-5	220	214	23,3	5	0–5
РНТО-190-63	220	190	63	12	0–6,5
РНТО-330-63	380	330	63	21	0–6,5
РНТО-190-250	220	190	250	48	0–6,5
РНТО-330-250	380	330	250	83	0–6,5

Примечание. Регуляторы серии РТ комплектуют повышающим трансформатором. Сейчас начат выпуск их улучшенного варианта – РТО-3 и РТО-5.

Использование трехфазных тиристорных БУМ, например РНТТ-330-250, РНТТ-330-600 и т. д., позволяет управлять еще большей световой мощностью (в установках световой архитектуры, в спектаклях "Звук и Свет").

Существуют специальные многоканальные театральные регуляторы освещения (как для люминесцентных, так и для ламп накаливания), содержащие в комплекте дистанционные пульты управления с ручными регуляторами или входами для внешнего электрического сигнала.

Тиристорные установки серии "Старт" выпускают на 60, 120 и 200 регулируемых цепей, мощность нагрузки в цепи каждого из каналов может быть равной 5 и 10 кВт в зависимости от типа силового регулятора (РТ-5-220 или РТ-10-220). Возможен предварительный набор четырех световых программ с последовательным воспроизведением. Выпускает промышленность и экспериментальные многопрограммные регуляторы "Свет". Унифицированный тиристорный регулятор яркости "Спектр" предназначен для работы с группами люминесцентных ламп общей мощностью 10, 20, 30 и 50 кВт. Возможно также управление и лампами накаливания. Регулятор "Спектр" комплектуют тремя дистанционными пультами управления. Малогабаритные тиристорные регуляторы "Спутник-12" и "Спутник-24" имеют соответственно 12 и 24 регулируемых цепи мощности 3 кВт каждая.

Последние разработки театральных светорегуляторов, пригодных для использования в СМИ, – однопрограммные РО1-6, РО1-12, РО1-24 и двухпрограммные РО2-30Б, РО2-60Б соответственно на 6, 12, 24, 30 и 60 каналов управления. У всех этих регуляторов мощность одного канала управления 3 кВт.

7. Пульты управления и запоминающие устройства

Пульты управления в СМИ иногда выполняют в виде обычной фортепианной клавиатуры, учитывая привычность их для музыканта-исполнителя (рис. 22). Но в этом случае конструкторы вынуждены вводить дополнительные регуляторы, выполняемые в виде ножных и коленных педалей. С подобной ситуацией столкнулись и конструкторы электромузыкальных инструментов, и поэтому нам необходимо максимально учитывать опыт создания пультов ЭМИ [36].

Но специфические свойства светового материала диктуют необходимость конструирования для СМИ особых пультов, позволяющих добиться наиболее гибкого управления яркостью, цветностью, насыщенностью, выбором форм и движением их по экрану. Вот как, например, решен пульт светорегулятора "Хромон", используемого для спектаклей "Звук и Свет". На панели пульта помещен цветовой график в виде криволинейного треугольника, по которому оператор перемещает ручку управления. Эта ручка связана с тремя цепями регулирования источников трех основных цветов. При положении ручки в центре треугольника работают источники всех трех цветов, в сумме дающие белый свет. При перемещении ручки к вершинам треугольника увеличивается доля соответствующего цвета, а остальные пропорционально и плавно гаснут. Каждой точке треугольника, таким образом, соответствует своя цветность светового потока. Остроумное развитие этот принцип получил у изобретателя Г. Л. Курдюмова, который управляет регуляторами посредством нитей, как в театре марионеток.

В обычных театральных регуляторах света выбирают канал и изменяют яркость подвижным рычагом, связанным с бесконтактным индуктивным датчиком или переменным резистором управления, задающим уровень сигнала на входы БУМ. Кроме того, регуляторы снабжают программаторами, позволяющими предварительно установить порядок действия всех цепей регулирования в каждой последующей сцене. Но на их применение в режиме СМИ рассчитывать не стоит, так как они удобны лишь при статическом освещении сцены. В СМИ, как увидим далее, удобнее использовать иной способ программирования с оперативной коммутацией светопроекторов на выходе каждого канала БУМ.

Пульты СМИ по сложности и даже по внешнему виду напоминают иногда органные консоли (рис. 23). Если пульт совмещен с ВОУ, он может представлять собой обычные механические рычаги, стальные тросы, гибкие передачи и т. п., связывающие органы управления пульта с диафрагмами, светофильтрами, трафаретами в ВОУ. Подобный принцип использовал в светоинструменте "Клавилюкс" американский конструктор Т. Уилфред (рис. 24) [23].

Пока среди всех подобных СМИ, если не считать тех, что используют стандартные театральные светорегуляторы, не существует унификации пультов. Как оригинальный и удобный в работе пульт следует отметить конструкцию харьковского зала светомузыки (проект Ю. А. Правдюка).

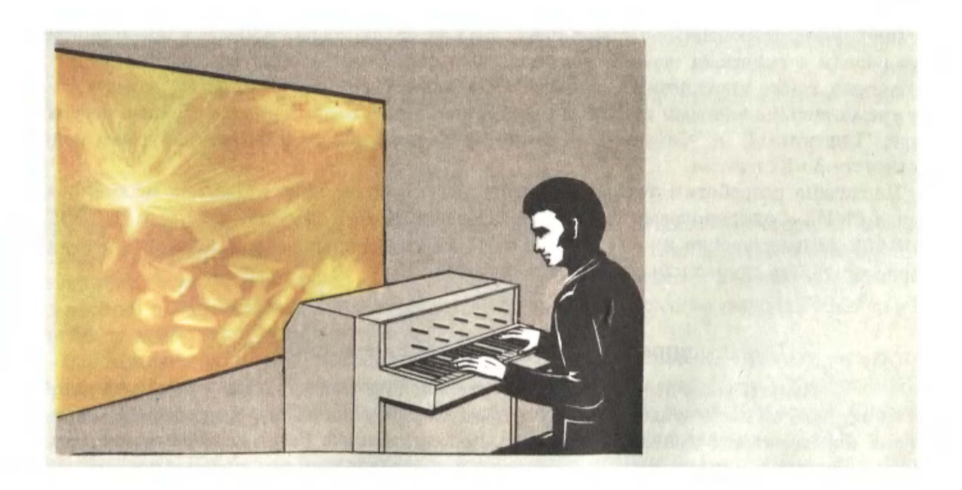


Рис. 22. СМИ "Музископ" Н. Шеффера (1961 г.)

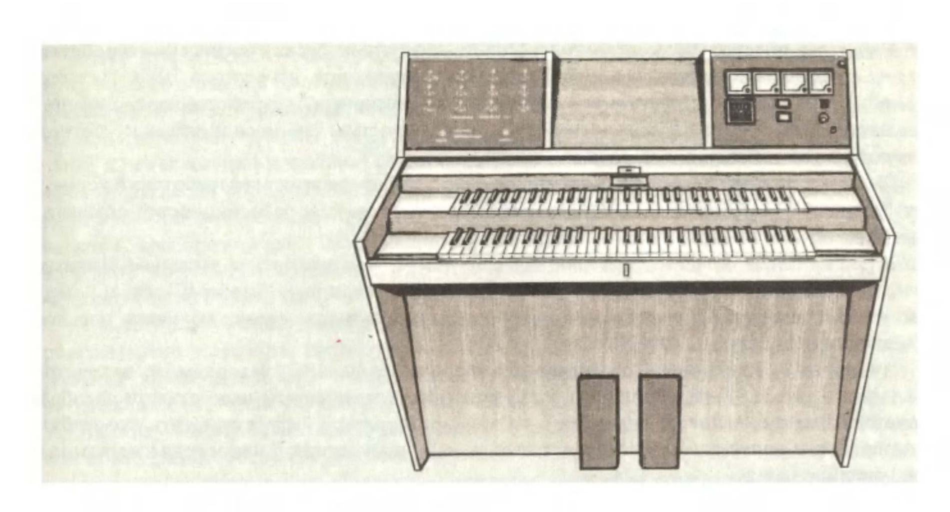


Рис. 23. Пульт светоинструмента Государственного центрального киноконцертного зала

Пример решения пульта СМИ с растровыми изображением приведен на рис. 25. Клавишами выбирают зону засветки экрана тем или иным цветом, а яркостью управляют посредством ножных педалей.

Существуют бесконтактные пульты с фотодатчиками, управляемые светом. Их удобно применять в основном в растровых СМИ, когда пульт также представляет собой растровое поле датчиков. Действие фотодатчиков можно настроить на открывание или закрывание фотоключей при попадании на них света. Перекрывая свет, падающий на пульт, рукой, шторками, фигурными трафаретами или кинопленкой, получают движение соответствующих светлых или темных образов заданной конфигурации на большом экране. Как увидим в следующей главе, этот способ можно использовать и в транспарантных СМИ.

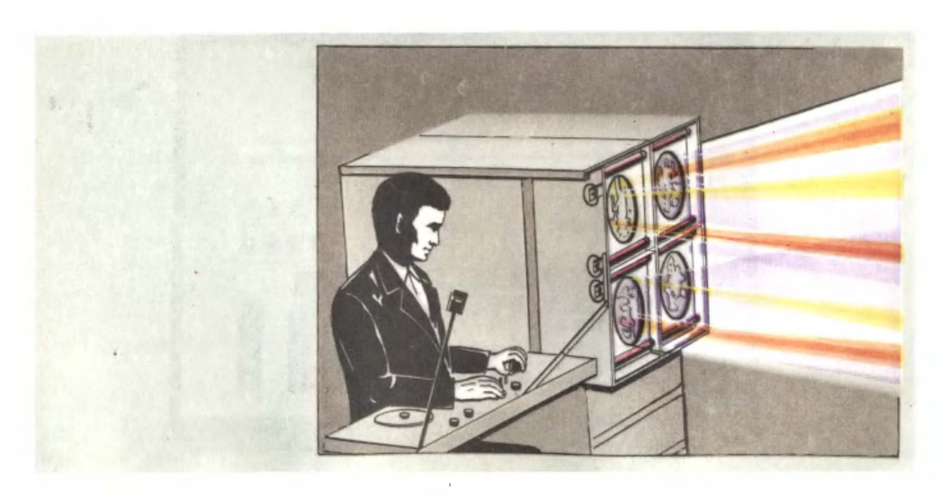


Рис. 24. Пульт и проекторы "клавилюкса" Т. Уилфреда (1937 г.)

Известны интересные конструкции пульта с другими бесконтактными устройствами – емкостными датчиками, работающими по принципу известного ЭМИ "терменвокс". Необходимо отметить и так называемые "сенсорные" устройства, позволяющие коммутировать цепи без механических усилий, простым прикосновением к соответствующей точке поверхности пульта.

Попытку унифицировать пульты управления СМИ предприняли разработчики установки "Мираж" [18]. Для этого СМИ они разработали несколько разновидностей клавиатуры дискретного и непрерывного действия.

К дискретным клавиатурам они отнесли такие, при касании к которым скачком меняется состояние ключевого элемента (контакты, герконы, "сенсоры" и т. д.). При 10 – 13 градациях формируемого управляющего сигнала можно получить плавное управление яркостью источников света.

Аналоговые клавиатуры обеспечивают плавное изменение управляемого параметра на выходе пульта. К управляющим элементам такой клавиатуры надо отнести преобразователи "перемещение–напряжение", магнито-резисторы. Следует отметить, что любую непрерывную величину можно представить в виде дискретной с некоторым малым шагом сканирования.

Специфическую группу составляют клавиатуры с управляющими элементами преобразователя "время–напряжение", т. е. выходной параметр зависит от того, как долго исполнитель касается органа управления. Все эти виды клавиатуры для СМИ "Мираж" взаимозаменяемы.

Световую композицию воспроизводят на пульте по световой партитуре, которая является своего рода памятью операторских манипуляций. Заранее следует оговорить, что, в отличие от музыки, в световой партии унифицированной нотной записи существовать не может. В этом убеждает отсутствие единых обозначений даже для танца, где задача намного проще. Но для каждого конкретного вида СМИ своя условная запись возможна и целесообразна. Естественно, нотными или другими знаками можно записать лишь движения ручек на пульте, сама же основа композиции воплощена в трафаретах ВОУ. Для того, чтобы зафиксировать всю композицию в ее целостности, необходимо обращение либо к кино- и видеосъемке, либо к специальным запоминающим устройствам ЗУ, которые можно совмещать со СМИ, если у них БУМ выполнен в электронном варианте.

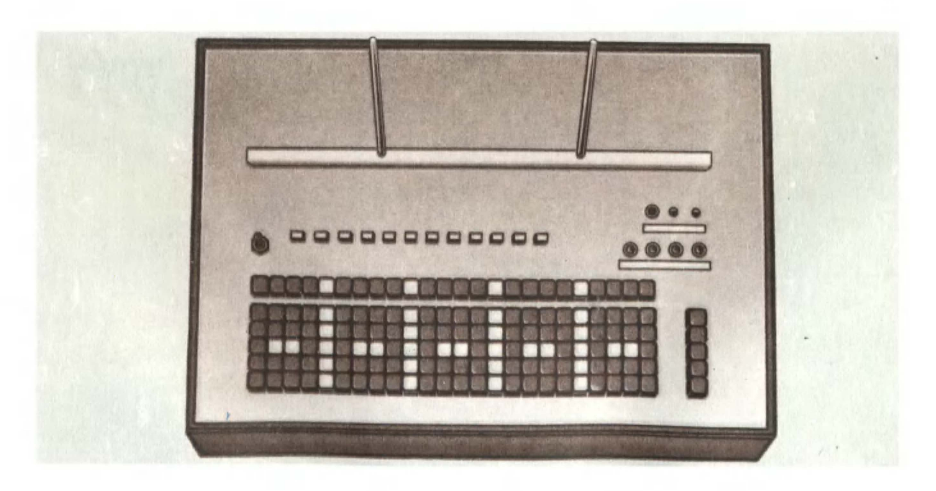


Рис. 25. Один из пультов СМИ "Прометей-2"

Итак, при работе с обычными оптико-механическими СМИ существует проблема запоминания сигналов на входе СМИ согласно требуемому порядку включения соответствующих БУМ и управления ими по определенной программе. Частично здесь можно заимствовать опыт работы с многопрограммными регуляторами света, предназначенными для телестудий и театра. Управляющие сигналы для них записывают в виде системы отверстий на перфокарты или перфоленты. Эти отверстия являются, по сути дела, двоичным кодом значений яркости, установленных в ходе репетиций. При воспроизведении преобразователь "код–напряжение" формирует сигнал, который вводят в мостовое устройство сравнения, где этот сигнал воздействует на электромагнитные муфты рычагов управления.

В некоторых случаях достаточным оказывается использование и других простейших программных устройств. Рассмотрим, например, такую задачу: запомнить сигнал срабатывания коммутатора для подключения определенной комбинации нескольких ВОУ из имеющего их числа на выходе одного мощного БУМ. В качестве коммутационного устройства можно взять шаговый искатель, скоммутировав необходимым образом его контактами соответствующие комбинации ВОУ, как это требует исполнение светомузыкальной композиции. Сигналы управления шаговым искателем можно формировать с помощью фотоэлектронного устройства, которое реагирует на отраженный свет (зеркальная пленка, наклеенная на магнитную ленту) или прямой свет (смыв предварительно феррослой с участка магнитной ленты), причем все эти управляющие участки наносят на свободные дорожки той же магнитной ленты, на которой записан звук.

Управляющий импульс может быть записан непосредственно и на самой магнитной ленте. Для этих целей могут быть использованы известные схемы переключающих устройств, синхронизирующие магнитофон и автоматический диапроектор.

Более сложной является запись на магнитную ленту переменных сигналов управления, например изменения яркости ламп или скорости электродвигателей. Имеется несколько генераторов с некратными частотами. Амплитуда сигнала каждого из них меняется в зависимости от уровня сигнала с выхода соответствующего элемента пульта (некратность необходима для исключения совпадения гармоник одного генератора с основными частотами других). Несущие частоты записывают на одну дорожку во время предварительной подготовки световой программы. В режиме воспроизведения сигналы с ленты поступают на вход дешифратора, содержащего резонансные фильтры и детекторы. Каждый фильтр выделяет свой сигнал управления.

Для записи и воспроизведения звуковой программы и сигналов управления на одну магнитную ленту используют специальные многоканальные магнитофоны либо обычные стереофонические магнитофоны, предварительно переделав их так, чтобы можно было при необходимости отдельно на каждой дорожке стирать, записывать и воспроизводить нужные сигналы.

По сравнению с рассмотренной аналоговой системой преимущество имеет цифровая система записи, получившая в настоящее время очень широкое распространение и позволяющая использовать бытовые магнитофоны. Преимущество состоит, как мы увидим дальше, в большей плотности записи информации, высокой помехозащищенности, точности. Сигналы управления, записанные на магнитную ленту, можно передавать одновременно на несколько светомузыкальных устройств, на большое расстояние, например, по трансляционной сети. Реально это возможно для несложных унифицированных СМИ бытового назначения.

8. Особенности звукового канала

Светомузыкальные композиции можно исполнять как в сопровождении оркестра, так и под фонограмму, воспроизводимую электроакустическим устройством. Однако необходимость работы в темноте заставляет отдавать предпочтение фонограмме. Не стоит, конечно, говорить о необходимости высококачественного звуковоспро-

изведения. Действие самых интересных светокомпозиций может быть сведено на нет из-за шипящей грамзаписи или устройства вопроизведения низкого класса.

На рис. 8 звуковой канал выделен в самостоятельную цепь, содержащую свои аналоги элементов светового канала. Но если элементам светового канала (ВОУ, БУМ и ПС) были посвящены отдельные разделы, то для описания всего звукового канала достаточно одного небольшого раздела, так как требования, предъявляемые к этому каналу, в основе своей те же, что и к обычным звуковоспроизводящим устройствам. Поэтому основное внимание обращено на некоторые специфические требования к элементам звукового канала, обусловленные синтетическим характером светозвукового воздействия и совместной работой обоих каналов в единой конструкции.

Прежде всего необходимо исключить влияние помех электронных БУМ светового канала на акустический тракт, которое проявляется в виде наводок по цепи питания или электромагнитных наводок (в основном высокочастотных). Кроме развязки звукового и светового каналов по цепи питания, использования защитных фильтров и экранирования входных цепей усилителя ЗУ, необходимо блоки этих каналов пространственно разнести один от другого. Источники звука необходимо располагать как можно ближе к ВОУ, иначе произойдет нежелательное разрушение эффекта единства светозвукового воздействия. Если экран ВОУ велик, то его необходимо делать (при фронтальной проекции) из акустически прозрачного материала, а громкоговорители помещать за ним (как принято в кинозалах, где экран выполнен из пленки с большим количеством мелких отверстий). При рирпроекции громкоговорители приходится устанавливать у основания или по контуру экрана. Поскольку повышение высоты звука психологически ассоциируется с подъемом, высокочастотные громкоговорители обычно помещают над низкочастотными, над экраном.

В больших залах предусматривают звуковые отражатели для улучшения акустических характеристик помещения. В специальных залах сферической формы, где обязательно нужно бороться с нежелательной фокусировкой звука, отражатели помещают не в зале, а за экраном (в случае, если экран акустически прозрачный, источники звука тоже помещают за экраном).

Звуковой пульт при работе со СМИ должен быть независимым в конструктивном решении и рассчитанным на обслуживание отдельным исполнителем. Специфика работы звукооператора состоит в том, что помимо его традиционных обязанностей (управление громкостью и качеством звучания, звуковыми эффектами и т. п.) ему нужно совместно со светооператором формировать единую художественную светозвуковую композицию, особенно при использовании специальных электроакустических установок пространственного звука, когда звукооператор получает возможность управлять движением звука в объеме зала или плоскости экрана и совмещать в пространстве одновременное движение светового и звукового образов.

Прием пространственного разделения и движения разных звуковых голосов, мелодий, инструментов редко используется сам по себе, обычно он сопутствует динамике света. При этом в партитуре должна быть зафиксирована своими условными знаками партия движения звука. Разумеется, звук не обязательно должен постоянно "бегать" за светом, способствуя созданию иллюзии перемещения некоего звучащего тела. Наряду с подобным унисонным синтезом траекторий звука и света можно преднамеренно разделять эти траектории и полифонически противопоставлять их друг с другом. Можно бесконечно разнообразить сочетание пространственной музыки и световой партии. Представьте – скрипач стоит за просветным экраном и играет перед микрофоном. Световые проекторы вырисовывают на экране его многоцветную тень, а усиленные звуки скрипки описывают по залу плавные кривые с помощью установки пространственной музыки. Оптимальные условия для совместного воспроизведения "пространственной" музыки и световой партии, по мнению авторов, могут быть обеспечены в специальных залах замкнутой формы, где вся описанная выше аппаратура будет использоваться во всем ее многообразии.

Ознакомившись со всем этим комплексом световой и звуковой техники, можно убедиться, что процесс управления ею во время светоконцерта не так прост и требует слаженных действий целой группы светомузыкантов-операторов, управляемых режиссером-дирижером, действия которого несхожи с теми, что мы видим у традиционного дирижера. Ему надо управлять не обычным, а световым оркестром, причем в темноте. Удобнее всего это сделать посредством речевых команд, подаваемых из застекленного звукоизолированного помещения в микрофон. Сигналы по проводам поступают в головные телефоны операторов. Можно записать речевые команды на многоканальный магнитофон в процессе репетиций. А в идеале, как уже отмечалось выше, на ленту следует записывать вместе с музыкой закодированные электрические сигналы управления всеми проекторами и траекторией движения звука.

9. Исторический обзор техники светомузыкального синтезирования

Первая попытка создания СМИ связана с именем французского монаха Л.-Б. Кастеля (1688–1757). Его идея "музыки цвета" была весьма наивной. С нажатием клавиши клавесина перед глазами выскакивали окрашенные цветные ленты. Каждая клавиша была связана с определенным цветом по аналогии спектр–гамма. Он предлагал также использовать свечи со шторками, просвечивающие драгоценные камни разного цвета. Российская Академия Наук в 1742 г. посвятила критике идей Кастеля специальное заседание. В конце XVIII в. подобный инструмент реализовал К. Эккартсгаузен в Германии: "Я заказал себе цилиндрические стаканчики из стекла, равной величины, в полдюйма в поперечнике. Налил их разноцветными жидкостями по теории цветов, расположил сии стаканчики как струны в клавикордах, разделяя переливы цветов, как делятся тоны. Позади сих стаканчиков сделал я медные клапанцы, коими они закрывались. Сии клапанцы связал я проволокою так, что при ударе по клавишам клапанцы поднимались и цветы открывались. Сзади осветил я сии клавикорды высокими свечами. Красоту являющихся цветов описать нельзя, она превосходит самые драгоценные каменья. . . "[1] Подобный инструмент был повторен в 1844 г. англичанином Д. Джеймсоном, а затем Д. И. Хмельницким – в России. Когда появились масляные лампы, их немедленно предложил использовать для исполнения цветовых мелодий Э. Дарвин: источником света" . . . является лампа Арганда, свет этот проходит через цветные стекла и падает на определенное место стены; перед стеклами помещаются подвижные решетки, соединенные с клавишами клавикорда, и производят одновременно слышимую и видимую музыку в унисон друг с другом"[2].

Первые же электрические источники света сразу привлекли внимание сторонников "музыки цвета". Пока не было ламп накаливания, предлагали использовать разрядники из разных металлов, дающие искры разного цвета. Было построено два "цветовых органа" с применением электрической дуги – американцем Б. Бишопом и англичанином А. Ремингтоном (рис. 26).

Мы не стали бы приводить здесь столь подробное описание всех этих забавных световых инструментов, в лучшем случае напоминающих огромные семафоры и убеждающие на практике лишь в бессмысленности аналогии спектр–гамма, если бы и сейчас не появлялись запоздалые проекты СМИ, которые отличаются от "цветового клавесина" Кастеля лишь тем, что в них использованы современные лампы-накаливания, цветные кинескопы и лазеры.

Конструктор "цветового рояля" Ф. И. Юрьев считает, что окрашивая экран в любой из 12 цветов цветоряда, можно создавать, следуя аналогии цветоряд–звукоряд, немую "музыку цвета". Кроме такого "цветового рояля", Ф. И. Юрьев с настойчивостью

---

[1] Эккартсгаузен К. Ключ к таинствам натуры. – СПб, 1804, с. 277.
[2] Дарвин Э. Храм природы: Пер. с англ. – М.: АН СССР, 1960, с. 156.



Рис. 26. Цветоорган Б. Бишопа

Рис. 27. Дисковый трафарет светового инструмента "Оптофон" В. Д. Баранова-Россине (находится в Центре искусств им. Ж. Помпиду, Париж)

Кастеля вновь предлагает проекты "цветовой виолончели", "цветового ксилофона" и т. д. [13]. Но новое искусство требовало новых инструментов, не подражающих звуковым, а своих, особых, с организацией света в сложные формы разной фактуры. И такие СМИ появились. Еще во времена Кастеля художник И.-Л. Гофман писал: "Если бы краскам цветового клавесина сообщить и рисунок, то изобретатель заслужил бы золотой памятник". Рассмотрим далее работы тех, кто мог бы претендовать на этот памятник.

Вскоре после Октябрьской революции художник В. Д. Баранов-Россине проводит свои концерты "оптофонной музыки" в Большом театре и театре Мейерхольда. Для этого им был создан диапроекционный СМИ с дисковыми трафаретами (рис. 27).

В 1920 г. Г. И. Гидони (Петроград) берет патент на "световые декорации", полученные с помощью теневых трафаретов. Он создает световые партии к "Интернационалу", к Девятой симфонии Бетховена, к стихам А. С. Пушкина, в 1928 г. проводит показательные светоконцерты. Самый грандиозный его проект – световой памятник Революции, к сожалению, не реализованный из-за технических трудностей (рис. 28). Огромный полупрозрачный шар-глобус является залом на несколько тысяч человек. Смотреть светокомпозиции зрители могут и снаружи, находясь на постаменте, представляющем собой конструкцию из огромных серпа, молота и шестерни [4]. Кстати, подобные светомузыкальные сооружения впервые появились лишь в последние годы – это павильон на ЭКСПО-67 в г. Монреале (Канада), ЭКСПО-70 в г. Осака (Япония).

Из советских экспериментаторов довоенных лет можно отметить С. О. Майзеля, А. М. Дымшица, М. В. Матюшина, П. П. Кондрацкого, работающих в области конструирования СМИ. Среди работ зарубежных современников Гидони заслуживает внимания инструмент венгра А. Ласло. Основой его СМИ служат четыре диапроектора со сменными статическими и динамическими трафаретами, включая и жидкостные. В середине 20-х годов Ласло проводил светоконцерты в разных городах Европы. Позже с подобными СМИ начал работать в специальном зале англичанин Ф. Бентам, исполнивший в 1937 г. впервые в Западной Европе "Прометей" Скрябина со светом.

Но наибольший интерес вызывают СМИ американца Т. Уилфреда, объединенные общим названием "Клавилюкс". Его первый СМИ был построен в 1919 г. В предвоенные

годы Уилфред выступает в США и в Европе в основном с концертами беззвучной "музыки света" (рис. 29). В 1926 г. совместно с дирижером Л. Стоковским он исполняет со светом "Шехерезаду" Н. А. Римского-Корсакова. Пульты его инструментов обычно совмещены с ВОУ. В рирпроекционном СМИ четыре проектора, оснащенных сменными перемещаемыми лампами с фигурными нитями, набором поворачиваемых линз на пути луча света и разного рода трафаретов: плоских и объемных, вращаемых, замкнутых в кольцо и т.д. "Клавилюксы" Т. Уилфреда по сложности картин и гибкости управления являются образцами СМИ и по сей день. Незавершенным остался проект Института света со "световым колоколом" в угловой башне (рис. 30). С 1967 г. эксперименты Т. Уилфреда продолжают его ученики В. Сидениус, Э. Рейбак, а с 1971 г. – нью-йоркский "Ансамбль светомузыки" (рис. 31).

В послевоенные годы следует отметить активную деятельность Музея А. Н. Скрябина, где при содействии академика С. И. Вавилова был создан светоинструмент со стати-



Рис. 28. Проект зала Г. И. Гидони

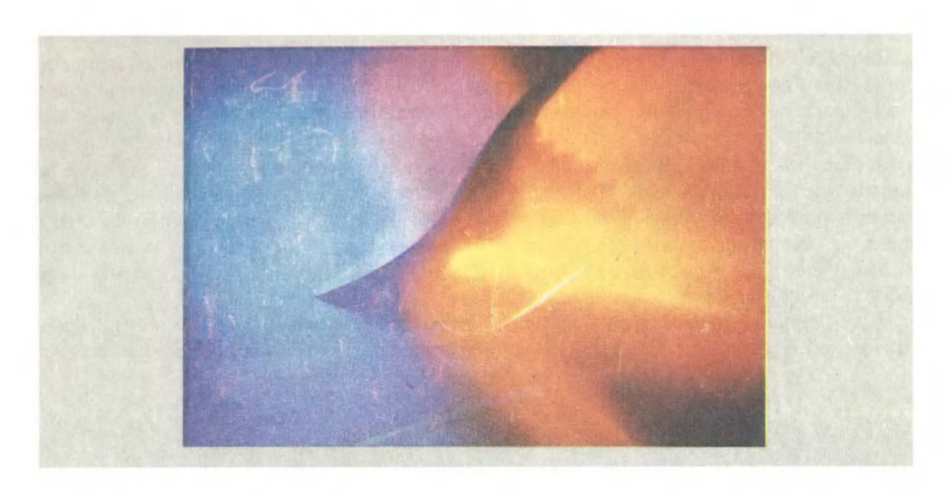


Рис. 29. Композиция "Жар-птица" Т. Уилфреда

ческими трафаретами и несколько макетов светомузыкальных залов. В сотрудничестве с музеем работают А. И. Кириленко и В. П. Борисенко. В 50-е годы В. П. Борисенко проводил светоконцерты на небольшом СМИ с реостатным БУМ и ВОУ на основе обычного шарового плафона.

В 1962 г. в Казанском авиационном институте в студенческом конструкторском бюро (СКБ) "Прометей" была изготовлена стационарная установка "Прометей-1" (конструкторы Ю. М. Коваленко, Г. В. Пронин, О. В. Шорников). За полупрозрачным экраном размерами 30×6 м было равномерно размещено более 1000 ламп накаливания по 15 Вт, окрашенных в семь цветов. Каждым цветовым каналом управляли с пульта посредством автотрансформаторов ЛАТР мощностью 3 кВт. На этом СМИ было проведено первое в СССР концертное исполнение "Прометея" Скрябина со световым сопровождением по авторской партитуре [7].

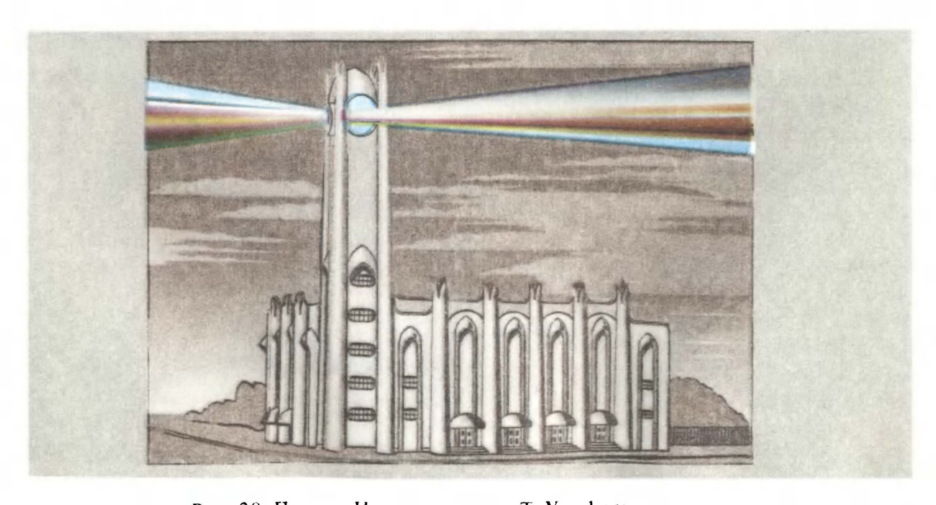


Рис. 30. Проект Института света Т. Уилфреда



Рис. 31. Световая композиция Э. Рейбака

В 1963 г. в СКБ "Прометей" КАИ была разработана установка "Прометей-2" растрового типа с пространственной динамикой света. За экраном размерами 24×5 м находились 120 кассет с пятью лампами накаливания разного цвета в каждой. С помощью пяти пультов (рис. 25) операторы формировали пятна различных очертаний и перемещали их по экрану согласно партитуре. БУМ выполнен на автотрансформаторах. В 1963 – 1964 гг. на этой установке были исполнены световые композиции на музыку А. Н. Скрябина, Н. А. Римского-Корсакова, М. П. Мусоргского, И. Ф. Стравинского, Ф. З. Яруллина. Основной недостаток этого СМИ – низкая разрешающая способность растра.

В 1966 г. СКБ "Прометей" демонстрирует на ВДНХ СССР СМИ меньших габаритов – "Кристалл", ВОУ которого выполнено в виде октаэдра из прозрачного оргстекла (конструкторы Б. М. Галеев, Р. Ф. Даминов) (рис. 32). Внутри его размещен куб из матового стекла, внутри которого, в свою очередь, смонтирован октаэдр с источниками света пяти цветов. С помощью клавиатуры исполнитель мог независимо менять цвет каждой грани "Кристалла". Яркостью можно управлять автоматически либо ножными педалями. Первый вариант БУМ выполнен на тиратронах, второй – на тиристорах. Мощность каждого цветового канала 600 Вт.

Сейчас СКБ "Прометей" экспериментирует в зале студии светомузыки Казанского молодежного центра, где смонтирован СМИ "Прометей-3". Фильмы и светомузыкальные установки "прометеевцев" экспонировались в ГДР, Болгарии, Чехословакии, Сирии, Италии, Англии, Канаде, Греции, США, на Кубе. В 1984 г. материалы СКБ "Прометей" были представлены на выставке "Электричество и электроника в искусстве XX века" (Музей современного искусства, Париж). Они отмечены сорока пятью медалями ВДНХ СССР.

В 1963–1966 гг. в Ленинградском институте авиационного приборостроения была разработана серия СМИ фронтальной диапроекции "Люкс-1", "Люкс-2", "Люкс-3" (конструкторы И. В. Модягин, Ю. В. Кошевой). "Люкс-3" демонстрировался на ВДНХ СССР. Его ВОУ выполнено на ксеноновых прожекторах ПКП-1-250 мощностью 1 кВт, внутри которых (на пути луча) размещены диафрагмы и трафареты из фольги, поворачиваемые с помощью соленоидного привода (катушка от громкоговорителя). Пульт выполнен в виде обычной фортепианной клавиатуры. Предусмотрена запись световой партии



Рис. 32. Светомузыкальный инструмент "Кристалл"

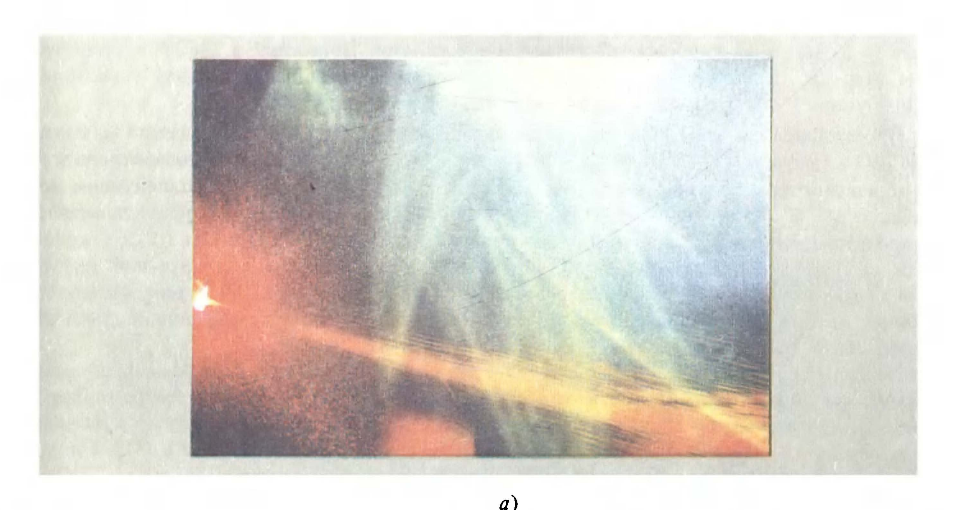
на магнитную ленту посредством частотного разделения каналов с амплитудной модуляцией несущих.

В 1965 г. в Московском авиационном институте был сконструирован СМИ с оригинальным решением пульта. Музыкант управлял яркостью света в каждом канале, как в "терменвоксе", приближением руки к управляющим элементам – металлическим дискам.

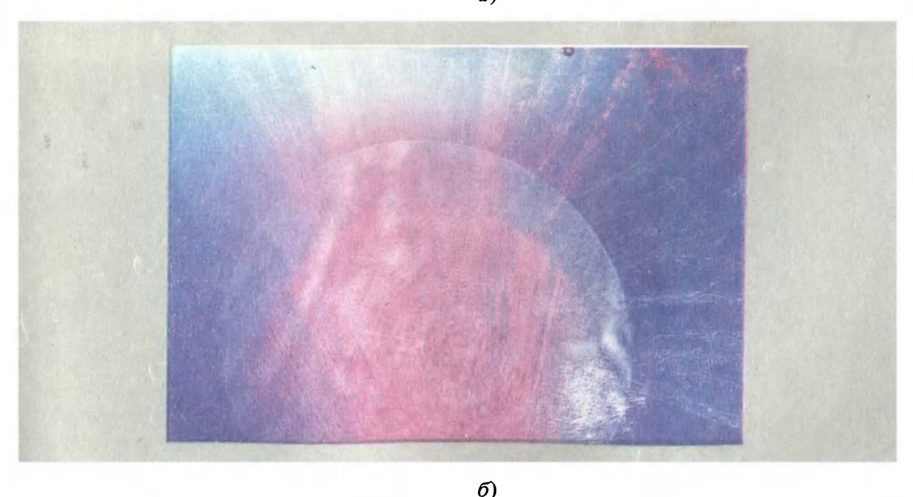
В СМИ "Зала цветомузыки" при харьковском ЦПКиО (зал открыт в 1969 г.) использована транспарантная проекция с барабанными трафаретами в сочетании со статическими. На этом СМИ его конструктором Ю. А. Правдюком исполнялись "Прометей" А. Н. Скрябина, рок-опера А. Л. Рыбникова "Юнона и Авось", световые интерпретации произведений Р. Вагнера, К. Дебюсси, Д. Д. Шостаковича и многих других композиторов [37]. Всего было создано около 100 светокомпозиций. Сейчас харьковский зал признан лидером в области светомузыкальной концертной деятельности. С 1970 г. модификации харьковского инструмента с несколькими подготовленными Ю. А. Правдюком комплектами формообразователей использовались в Московской студии электронной музыки, затем в детской студии светомузыки харьковского Дома пионеров, в студии светомузыки г. Чкаловска, Алма-Аты, в подмосковном санатории "Ерино", в ансамблях "Смеричка" и "Песняры".

СМИ полтавской "Лаборатории цветодинамических устройств" (автор проекта С. М. Зорин) демонстрировался на ВДНХ в 1970 г. В нем использована транспарантная рирпроекция. Подвижные трафареты – дисковые. Источники света – точечные лампы накаливания; светофильтры – пленочные [6]. Много лет функционирует мощный вариант такого СМИ в мотеле "Полтава". Другая модификация СМИ серии "Полтава-1" долгое время эксплуатировалась в зале эстетотерапии подмосковного санатория "Ерино", а СМИ "Полтава-2" – в лаборатории интенсивного обучения МГУ, в комбинате здоровья в г. Красногорске. Последователи в Полтаве усовершенствовали эти СМИ путем усложнения пульта управления и введением системы памяти (СМИ серии "МИСС" автор В. Скакун). Группа инженеров из Одессы использовала световые проекторы установки "Полтава-1" в целом ряде вариантов своего СМИ "Мираж".

Необычно решена крупномасштабная установка "Андромеда" с вертикальным экраном прямоугольной формы, работавшая в Измайловском парке Москвы с 1971 г. (авторы А. П. Михненко и др.). Она содержит большой набор плоских и объемных трафаретов из металла и стекла, используемых для сопровождения различных музыкальных произведений. Экран размером 18×3 м сделан из молочного органического стекла. Исполнитель находится внутри самой башни и контролирует свои действия, наблюдая за экраном небольшой, идентично действующей модели установки. Использование постоянного комплекта трафаретов ограничивает возможности установки, не позволяя получать завершенные в композиционном отношении световые сопровождения. Но зато это позволяет легко переводить ее работу в режим АСМУ. Автоматическое сопровождение осуществляется с тем же результатом, правда уже применительно только к легкой музыке.



а)



б)

Рис. 33. Лазерные композиции С. М. Зорина

Используют элементы светомузыки и в отдельных театральных постановках, например в Московском театре на Таганке, в Тбилисском оперном театре и т. д. Некоторые театры проводят и специальные концерты светомузыки. В 1972 г. в ленинградском киноконцертном зале "Октябрьский" был исполнен "Прометей" Скрябина с использованием диапроекции (мощные проекторы "Дрезден") и кинопроекции из нескольких аппаратов (авторы проекта Е. Б. Галкин, Б. В. Синячевский). После премьеры "Прометея" со светом началась эксплуатация светомузыкальной установки в московском киноконцертном зале "Россия" (1975 г., авторы проекта К. Л. Леонтьев, Г. И. Ашкенази).

Установка содержит пульт (см. рис. 23) и тиристорные БУМ; ВОУ в основном рассчитано на общую бесформенную засветку большого экрана, которая дополнена динамическим цветным освещением потолка. Для создания фигурных образов использована кинопроекция. В пульте предусмотрено переключение на режим АСМУ для сопровождения эстрадных спектаклей. Световая партия создавалась под руководством дирижера К. К. Иванова, который участвовал в исполнении "Прометея" в 1962 г. в концертном зале им. П. И. Чайковского; тогда была использована менее мощная установка конструкции К. Л Леонтьева с поляризационными светофильтрами.

Проектирование СМИ Московской экспериментальной студии электронной музыки (ЭСЭМ) при фирме "Мелодия" было начато в 1965 г. изобретателем фотоэлектронного музыкального синтезатора звука "АНС" Е. А. Мурзиным, закончено коллективом во главе с М. С. Малковым. Использовалась в основном диапроекция (фронтальная). В последние годы в ЭСЭМ экспериментировали с лазерным СМИ (лазеры ЛГ-36 – красный. ЛГ-106 – зеленый, ЛГ-31 – синий). Действие их сочеталось с электронной музыкой и пантомимой. Красочные лазерные композиции получал и С. М. Зорин, использовавший их в МГУ как средство активизации в курсе интенсивного обучения в одной из лабоpатории (см. рис. 33, *а, б*).

Лазерные представления проводят в последнее время в московском Мемориальном музее космонавтики, в московском планетарии [45], в драматическом театре г. Дзержинска [42]; в тульском цирке, в ленинградском дворце спорта "Юбилейный". Лазеры используют в сочетании с обычной аппаратурой и в концертах созданной в 1983 г. студии светомузыки г. Ужгорода (рис. 34, руководитель Д. А. Фридман).

Лазеры все чаще применяют и зарубежные экспериментаторы: при постановке оперы Моцарта "Волшебная флейта" (Мюнхен, 1970 г.), в концертах с музыкой Скрябина



Рис. 34 Композиция "Лазеромантика" (г Ужгород)


а)
б)

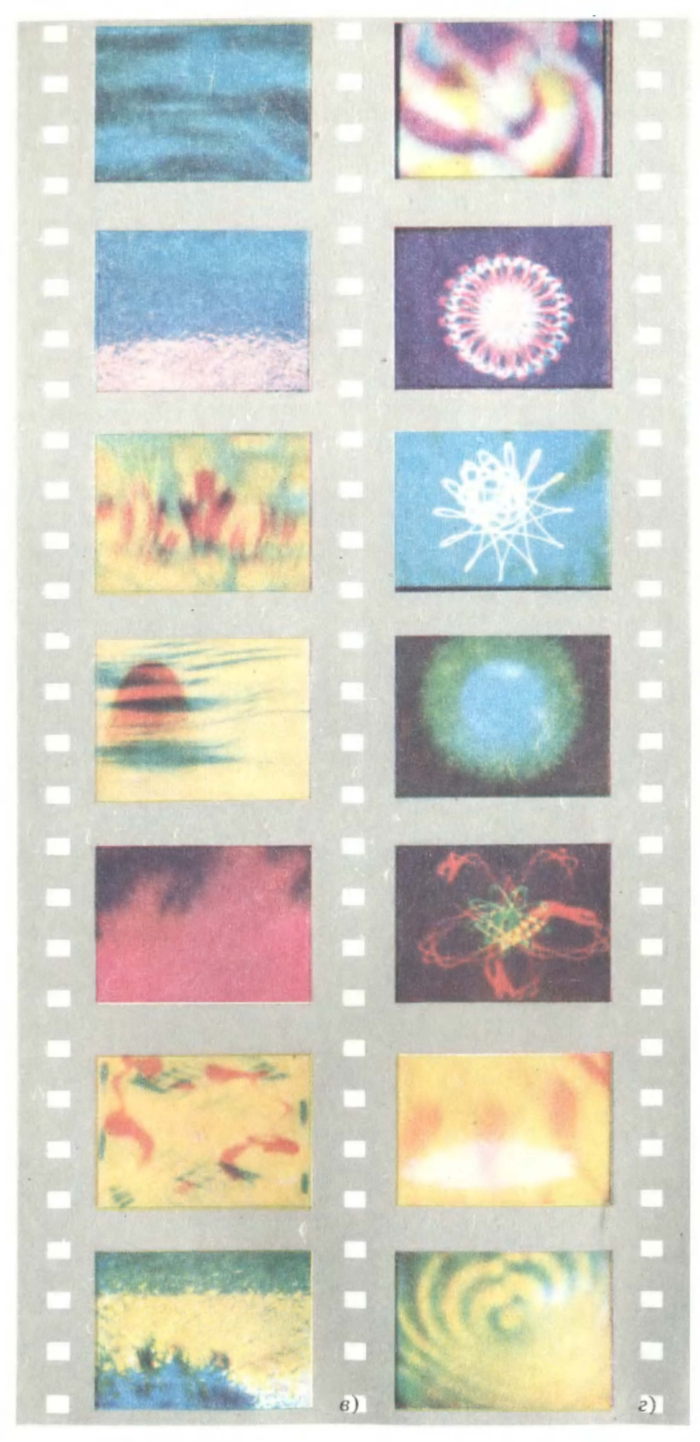


Рис. 35. Кадры из светомузыкальных фильмов

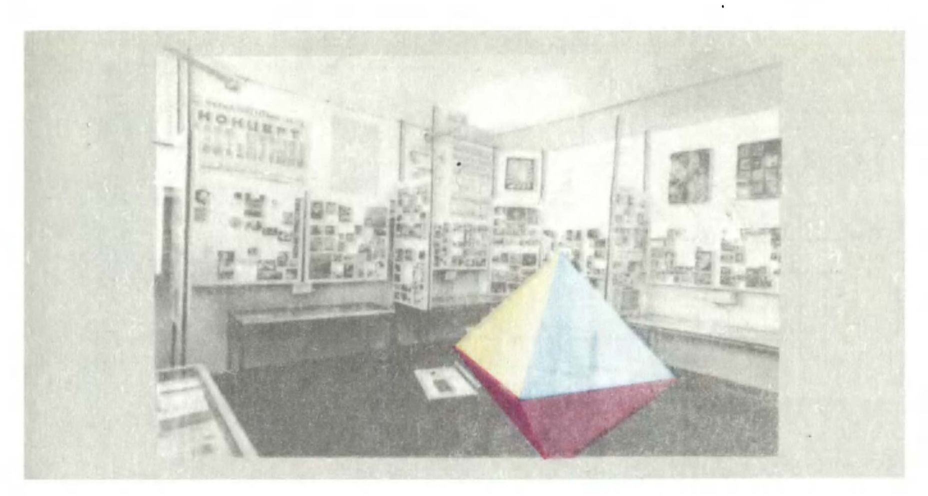


Рис. 36. Музей светомузыки (г. Казань)

американской пианистки Х. Сомер, в демонстрационных программах фирмы "Сименс" на радиотехнической выставке (ФРГ, 1971 г.), при исполнении "Прометея" в США (Нью-Хейвен, 1972 г.), в композиции "Политоп" французского экспериментатора Я. Ксенакиса и т. д. С 1970 года многие планетарии США, Японии, Англии оснащают светомузыкальными установками "Лазериум".

При будапештском планетарии действует клуб "Цветомузыка", а в чехословацком городе Брно успешно функционирует более десяти лет "Лазерный театр" (руководитель Я. Доубек).

Из зарубежных обычных оптико-механических СМИ последнего времени следует отметить "Музископ" Н. Шеффера (см. рис. 22), а также светоинструменты американцев Т. Джонса, Т. Шусмита.

Близка к технике СМИ аппаратура, используемая при съемке светомузыкальных фильмов [2, 21, 22, 40]. Но технология кино при этом претерпевает значительные изменения. Так, фильмы СКБ "Прометей" сняты на черно-белую пленку, а конечный позитив получен уже многоцветным (рис. 35: *а* – "Прометей", *б* – "Вечное движение", *в* – "Маленький триптих", *г* – "Космическая соната"). Перспективно использование в качестве ВОУ малогабаритных СМИ и цветных кинескопов [20]. Смыкается со СМИ и аппаратура светомузыкальных фонтанов и необычных театрализованных представлений "Звук и Свет".

Информация об истории конструирования и использования СМИ во всем мире обширно представлена на стендовой экспозиции Музея светомузыки, который организован в 1979 г. и находится при студии светомузыки Казанского молодежного центра (рис. 36).

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СОВРЕМЕННЫЕ СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

10. СМИ транспарантной проекции

Начнем наш обзор со СМИ, который за 20 лет эксплуатации показал очень хорошие художественные и исполнительские возможности, надежность и долговечность и заслужил право называться "классическим" в своей области. Это СМИ "Харь-

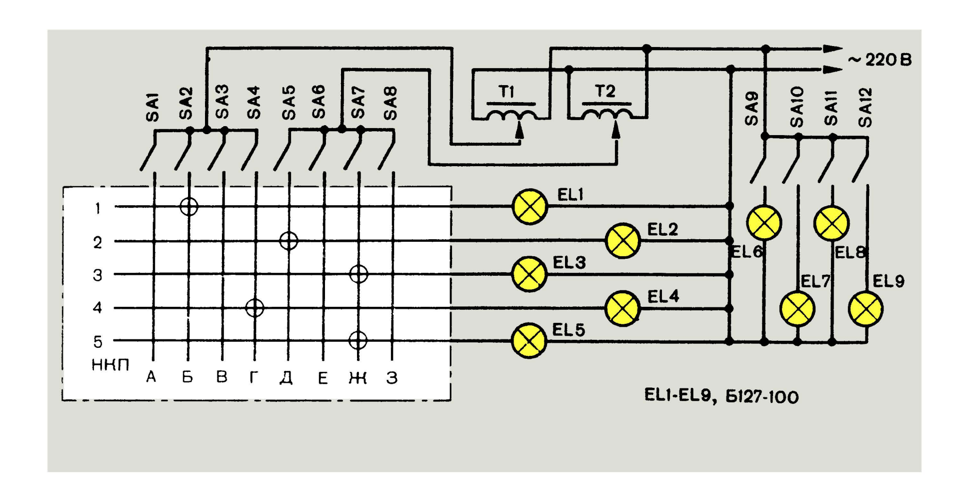


Рис. 37. Схема СМИ "Харьков"

ков", разработанный и используемый известным советским светохудожником Ю. А. Правдюком в концертах, проводимых в "Зале цветомузыки" харьковского ЦПКиО им. Горького и в студии политехнического института. СМИ сочетает простоту, изящество конструкции и широкие изобразительные возможности.

В ВОУ данного СМИ используется транспарантная проекция с цилиндрическими роторами (см. рис. 15, *а, б*).

Принцип действия СМИ "Харьков" рассмотрим по схеме на рис. 37. Его БУМ выполнен на шести автотрансформаторах типа ЛАТР-1М (на схеме показаны только два канала управления). Мощность одного канала – 2 кВт. К каждому автотрансформатору выключателями *SA1 – SA4, SA5 – SA8* и посредством наборной коммутационной панели НКП можно подключить любую проекционную ячейку ВОУ или группу ячеек (с лампами *EL1 – EL5*) во всевозможных комбинациях. Панель представляет собой коммутационное поле, вертикальные линии которого штекерами можно замыкать с горизонтальными.

Источники света в каналах управления – лампы накаливания на 127 В, яркость которых регулируют изменением напряжения от 0 до 170 В, работают в режиме перекала. При этом значительно увеличивается световой поток и синеет спектр излучения. Поскольку напряжение на лампах изменяют плавно, средний срок службы их снижается незначительно. Предусмотрены еще четыре ячейки ламп *EL6 – EL9*, коммутируемые выключателями *SA9 - SA12* и работающие в режиме мгновенных вспышек.

Рукоятки СМИ сгруппированы так, что исполнитель может манипулировать одной рукой одновременно тремя рукоятками, при этом на экран можно вывести от одной до шести неподвижных или управляемых форм как отдельных, так групповых. Практика светомузыкального исполнительства показывает, что такого числа проецируемых одновременно изображений вполне достаточно. Это положение подтверждают психологи: человек одновременно может распознать не более шести-семи самостоятельных объектов в поле зрения.

Пульт управления СМИ "Харьков" показан на рис. 38. Его конструкция содержит следующие элементы: корпус *13*; коммутационную панель *4*; клавишные панели *10* с четырьмя выключателями *9*, рукоятки управления *11*, автотрансформаторы *2* с механической тягой *3* и противовесом *1*; пюпитр *5*, выключатели *6–8* дистанционного

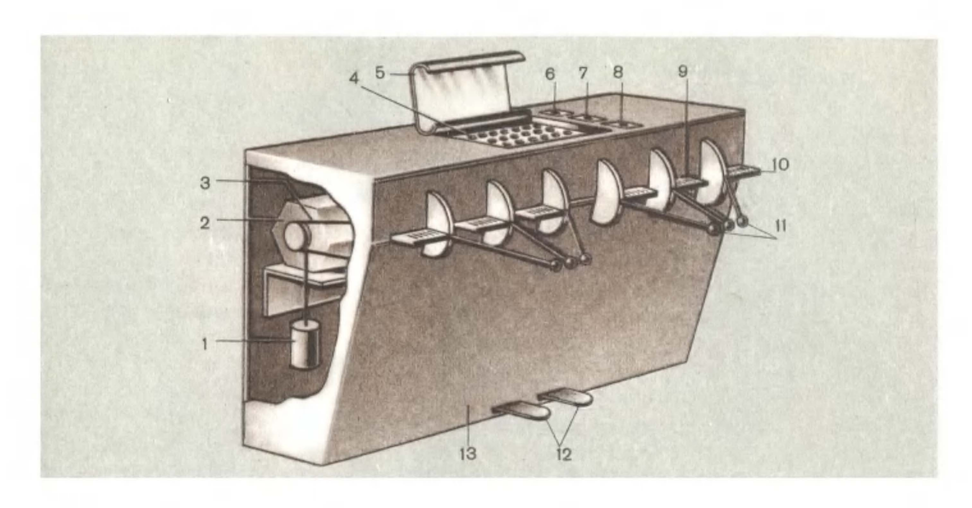


Рис. 38. Пульт управления СМИ

управления светом в зале, магнитофоном, двигателями проекционных ячеек соответственно; педали включения мгновенных вспышек *12*.

Пульт находится перед плоским экраном размерами 4×3 м. Над пультом, на высоте 3,5 м помещается кассета с десятками светопроекционных ячеек квадратного сечения (рис. 39). Расстояние от проекторов до экрана 5–7 м.

Рассмотрим устройство проекционной ячейки СМИ "Харьков" (рис. 40). Корпус *1* изготовлен из листовой стали толщиной 0,5 . . . 0,8 мм. На торце патрона *3* с лампой *10* укреплен постоянный магнит *2*, позволяющий фиксировать лампу в любом положении в любом месте ячейки за вращающимся барабаном *8*. Возможность такого перемещения лампы очень важна, так как положение нити накала лампы по отношению к прорезям на барабане определяет характер рисунка световой проекции на экране. Барабан *8* вращает электродвигатель *4* постоянного тока через промежуточный привод, состоящий из двух многоступенчатых шкивов *5* с пассиком, и редуктора *6* от электродвига-



Рис. 39. Кассета с проекционными ячейками

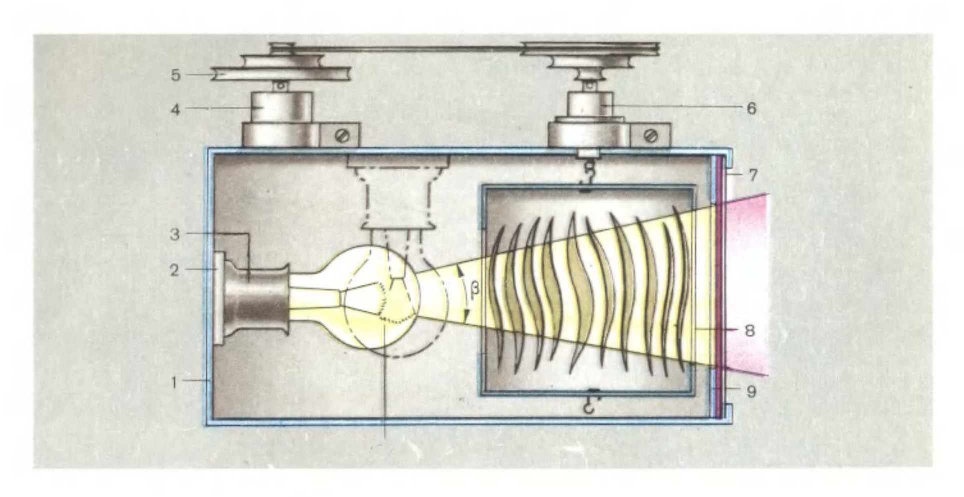


Рис. 40. Формообразующая проекционная ячейка СМИ "Харьков"

теля ДСД-2; у редуктора предварительно обрезают заднюю часть корпуса и открывают входную ось, на которую и устанавливают шкив. На выходной оси редуктора, находящейся внутри корпуса, имеется петля для крепления барабана, а на самих барабанах сверху и снизу предусмотрены крючки. Такая подвеска барабана расширяет возможности динамической светопроекции На выходе проектора установлен светофильтр *7* и статический трафарет *9*.

На рис. 41 показан принцип формообразования в светопроекционной ячейке. Благодаря тому, что противоположные стенки барабана движутся во встречных направлениях, лучи света от лампы проходят через щель, образованную двумя противоположными вырезами. Щель непрерывно изменяет конфигурацию. Движение форм на экране получается ритмичным, танцевальным. Наличие такой двойной модуляции луча света позволяет получать световые проекции, заметно отличающиеся от рисунка вырезов на самом барабане.

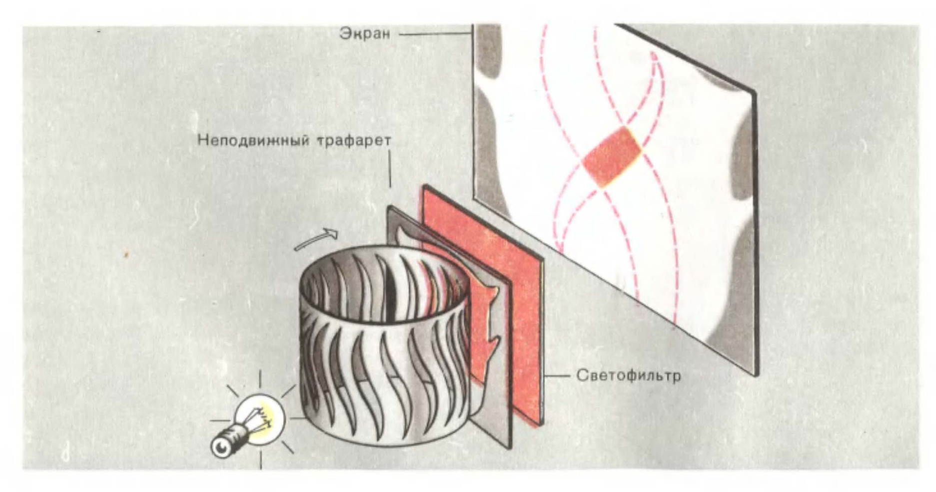


Рис. 41. Форма и движение светотени

Неподвижный трафарет (статор) играет также двойную роль; он либо ограничивает область развития данной формы на экране, замыкая ее в какой-то определенный контур, либо еще более трансформирует исходную форму, полученную от ротора (в том случае, если он сам содержит мелкие прорези). Вблизи статора крепится светофильтр.

Формообразующие роторы и статоры изготовлены в основном из плотного ватмана. Прорези либо вырезают скальпелем, либо выжигают, причем прорези могут быть и с прямолинейными, и с криволинейными контурами. Выжигание – прием более технологичный, так как позволяет одинаково справиться и с крупными вырезами, и с мелкими ажурными узорами. Готовые барабаны с вклеенными с двух сторон крышками желательно покрасить в черный цвет для увеличения контрастности изображения на экране и пропитать специальным составом, предотвращающим возгорание. Кроме цилиндрических можно применять формообразователи конической, призматической, эллиптической, кардиоидной и других форм (рис. 42, *а, б*). Полый барабан можно заполнять полосками цветной прозрачной пленки (стержнями, волокнами и др.), что позволяет менять фактуру светового образа.

"Палитру" светохудожника существенно обогащают объемные формообразователи, выполненные в виде пространственных структур, вписанных в контуры барабана (рис 42, *в*). Это могут быть также подвешенные тонкие стержни, колеблющиеся при вращении, и тогда в зависимости от их диаметра, числа и частоты вращения формообразователя получается мерцающее изображение, контуры которого зависят от рисунка прорезей в неподвижном трафарете. Такое мерцание нельзя заменить электрической модуляцией самого источника света, так как подобный формообразователь, кроме эффекта мерцания, существенно изменяет структуру самого светодинамического образа.

Таким образом, главным достоинством описываемого СМИ можно считать очень широкие возможности в создании разнообразных световых композиций. Фантазия, умение и опыт позволяют "рисовать" с помощью таких СМИ любые танцы летающих, клубящихся, ведущих между собой борьбу образов (рис. 43, *а, б*). Картина эта во многом зависит от изобретательности светохудожника, позволяющей сделать формообразователем почти все, что имеется у него под рукой.

Для этого, естественно, надо хорошо представлять конечную цель, видеть внутренним взором всю структуру воображаемой световой картины в движении. В этом случае любой предмет, освещаемый цветным светом и перемещаемый в пространстве, может способствовать воплощению на экране убедительного художественного образа.

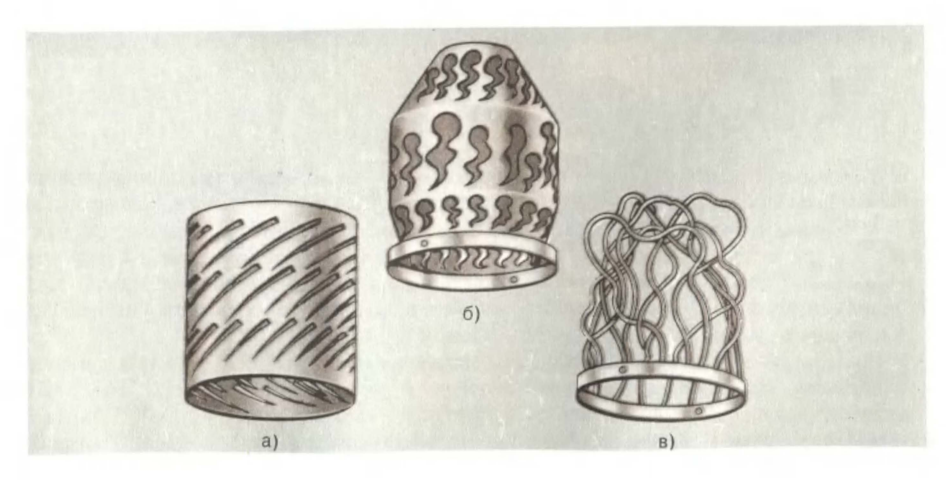
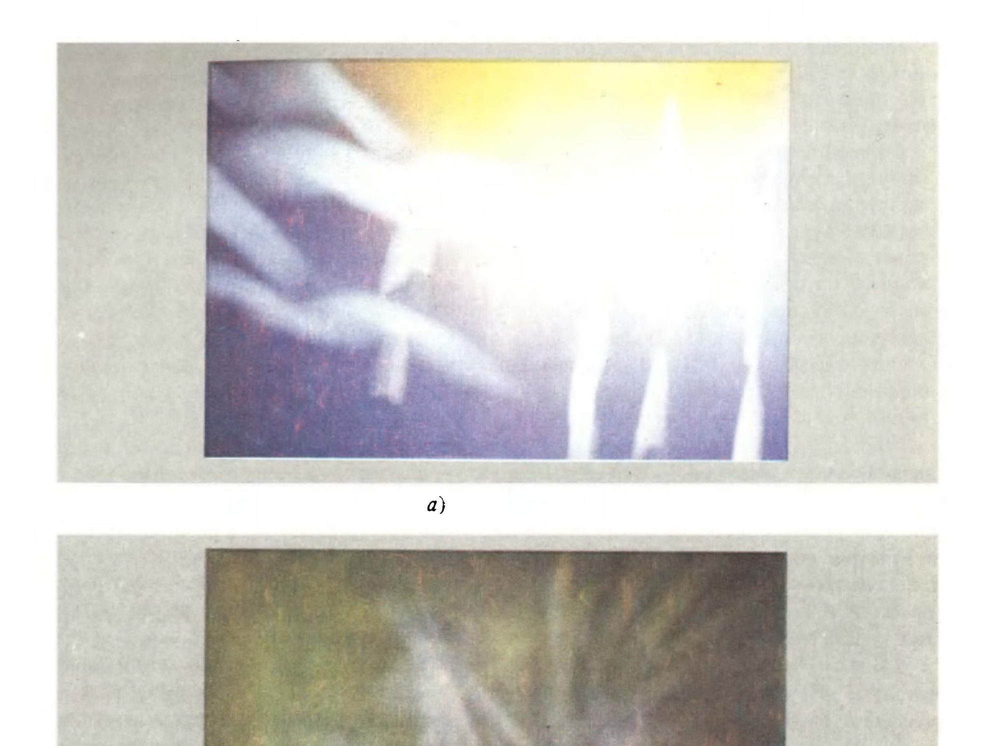


Рис. 42. Варианты конструкции ротора



а)

б)

Рис. 43. Композиции Ю. А. Правдюка

Естественно, описанный здесь пульт управления так же, как и проекционные ячейки, любители могут модернизировать, автотрансформаторы заменить тиристорами, вообще применить самую современную элементную базу, вместо ватмана использовать фольгу и т. п. Но это будут лишь технические усовершенствования и новшества. Неизменным останется сам принцип формирования светодинамической композиции, предложенный Ю. А. Правдюком и заслуживающий самой высокой оценки, благодарности и признательности у всех, кто причастен к новому искусству.

Большие возможности открылись и при использовании в ВОУ теневой проекции по принципу, представленному на рис. 15, *ж* и *з* с дисковыми роторами. С 1963 г. экспериментировал с ними С. М. Зорин, положивший их в основу серии СМИ "Полтава" разной мощности и размеров. В общих чертах концепция изобретателя "Полтавы" близка к позициям Ю. А. Правдюка, с которым С. М. Зорин сотрудничает уже около 20 лет. Все его СМИ сочетают простоту и широкий диапазон возможностей.

Рассмотрим подробно малогабаритный СМИ "Полтава", изготовление которого вполне доступно даже начинающему радиолюбителю. Инструмент состоит из корпуса с набором проекционных ячеек и выносного дистанционного пульта управления. Конструкция проекционной ячейки с узлами цвето- и формообразования представлена на рис. 44. На основании *6* закреплена втулка *15*, на которую надет дисковый ламподержатель *14* с четырьмя маломощными лампами *7*. Во втулке вращается ось *13*, на одном конце которой пружинной шайбой *9* фиксирован формообразующий дисковый ротор *8*, а на другом – диск *18* фрикционного вариатора. Между диском *18* и корпусом *6* вложена пружина *16* между двумя фторопластовыми шайбами *17*. Трехступенчатый шкив с диском *2* вариатора приводится во вращение от внешнего электродвигателя через резиновый пассик *4*. Вариатор состоит из ведущего диска *2*, обрезиненного ролика *3*, и ведомого диска *18*. Ролик *3* может перемещаться вдоль оси *1*, изменяя передаточное число вариатора. Трехступенчатый шкив вращается на опоре *5*, ввинченной в основание *6*. Такое совмещение плавного и ступенчатого изменения частоты вращения вала *13*, а также управление частотой вращения ротора электродвигателя допускает вариацию частоты вращения формообразователя в широких пределах (более чем в 100 раз). В ячейке применен реверсивный двигатель ДСДР-2 (220 В, 50 Гц). Частоту вращения его ротора регулируют путем изменения частоты питающего тока от 20 до 200 Гц, вырабатываемого генератором.

На диске ламподержателя устанавливают четыре лампы. Их можно устанавливать на разном расстоянии от центра диска (определяется экспериментально). Когда горят две диаметрально противоположные лампы, то при вращении формообразователя на экране видны движущиеся навстречу друг другу световые образы. По форме они существенно отличаются от прорезей на формообразователе, так как нить лампы имеет

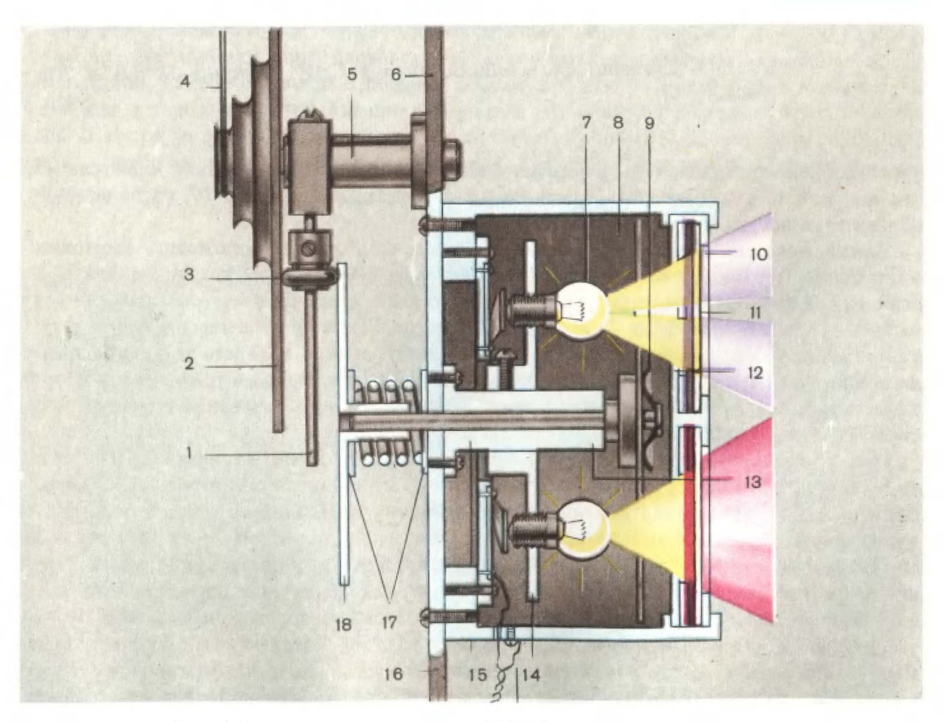


Рис. 44. Проекционная ячейка СМИ "Полтава"

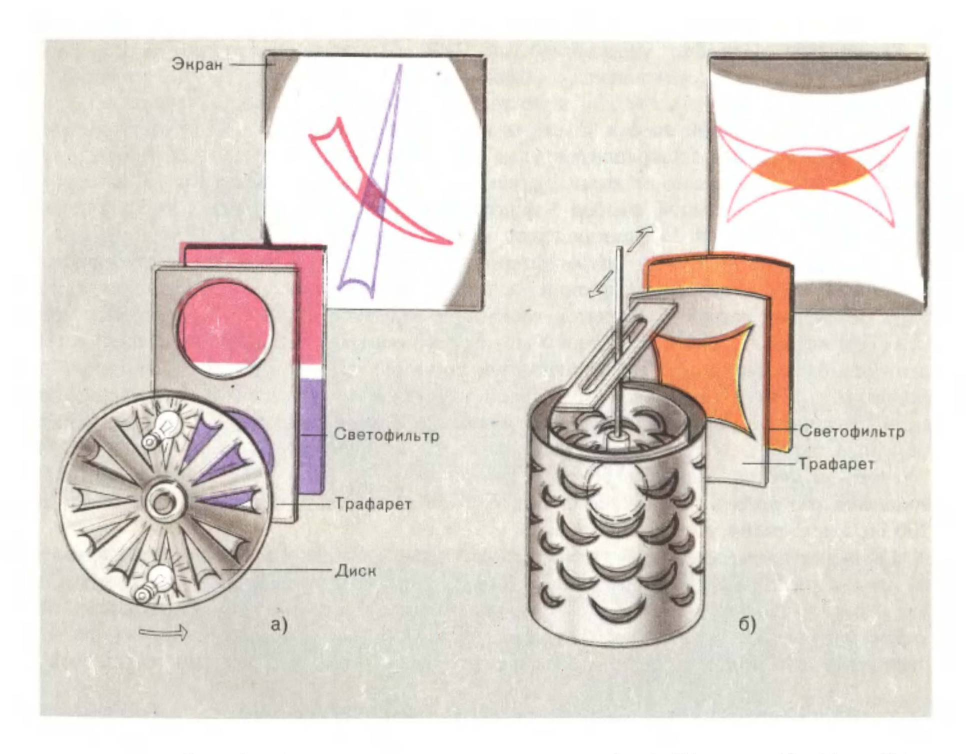


Рис. 45. Принцип формообразования в СМИ "Полтава-1" (*а*) и "Полтава-2" (*б*)

определенную протяженность и конфигурацию. Неподвижные формообразователи *12*, так же, как и светофильтры *11*, находятся в специальной кассете *10*, располагаемой вблизи вращающегося формообразователя.

Ламподержатель винтом фиксируют на втулке *15* в любом положении. Расстояние от ламп до формообразователя *8* определяет как размер форм на экране, так и их резкость. Если предусмотреть управление осевым перемещением ламподержателя, можно реализовать эффект "наплыва" и "отъезда", т.е. изменение размеров форм (подобно действию трансфокатора при киносъемке). Можно привести во вращательное движение сам ламподержатель, установив на втулке *16* кольцевые токосъемники, а на ламподержателе *14* – пружинящие щетки. Принцип формообразования в рассматриваемом СМИ показан на рис. 45 *а*.

Пульт управления проекционными ячейками в портативном варианте СМИ "Полтава-1" чрезвычайно прост (рис. 46). Он состоит из переменных резисторов ПП-3 сопротивлением 47 Ом (их число равно числу каналов управления яркостью) и сетевого трансформатора, понижающего напряжение сети с 220 В до 8 В (хотя и применены лампы на напряжение 6,3 В). Переменными резисторами вручную регулируют напряжение на лампах, для чего на оси каждого резистора закреплен диск диаметром 100 мм с накаткой на цилиндрической поверхности для удобства поворачивания движка. Диски располагают в ряд на расстоянии 40 мм один от другого (расстояние это зависит от размеров резисторов). Выше ручек управления размещают кнопки, позволяющие реализовать вспышки форм на экране, если это потребуется по ходу развития композиции. Эти кнопки при нажатии замыкают переменные резисторы. На пульте установлены так-

же тумблеры электроприводов. Тумблеры имеют среднее положение и позволяют не только включать и выключать электродвигатели, но и реверсировать их.

Еще один перспективный вариант СМИ транспарантной проекции 'Полтава-2" основан на принципе применения двойного барабана (см. рис. 15, *д*). Его конструктор С. М. Зорин обратил внимание на то, что в СМИ 'Харьков", например, световой поток, направленный на экран, ограничен довольно малым телесным углом (угол β, рис. 40). Формулы (1), (2) показывают, что КПД такого проектора невелик, а большое расстояние от проектора до экрана еще более снижает КПД (вспомним, что освещенность экрана обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света). Конструктор задался вопросом: как, не теряя достоинства барабанного формообразователя, добиться существенного увеличения яркости экрана? Увеличивать мощность ламп не стоит вследствие перегрева проектора, увеличения его габаритов и главное – размывания контура проецируемого изображения из-за большой площади светящего тела этих ламп. В результате поисков и была найдена конструкция ВОУ вида двойной барабан.

Ее преимущества в том, что она позволяет получить большой угол расхождения лучей источника света (сравните, например, угол α_2 на рис. 47 и угол β на рис. 40). Это дает возможность значительно уменьшить расстояние от проекторов до экрана (в СМИ 'Харьков" расстояние можно было бы уменьшить в 4–5 раз), благодаря чему яркость экрана, естественно, увеличивается. Резерв яркости экрана позволяет использовать более плотные светофильтры (получать более насыщенный цвет), обеспечивать совмещение с другими видами проекций на тот же экран. Принцип формообразования проекционной ячейки с двойным барабаном иллюстрирует рис. 45, *б*.

В результате многолетнего экспериментирования удалось найти удобную в обращении и надежную конструкцию проекционной ячейки с двойным барабаном (рис. 47). В цилиндрическом корпусе *1* со светопроекционным окном (справа по рисунку) размещены два формообразующих барабана *7* и *9* с минимально возможным зазором между цилиндрами. Такое положение барабанов фиксировано доньями *10* и *11*, в которые эти барабаны установлены. Дно внешнего барабана приводит во вращение электродвигатель *16* (с редуктором) посредством обрезиненного ролика *7*. Электродвигатель шарнирно закреплен в держателе *14*, и пружиной *15* ролик *17* постоянно прижат снизу к



Рис. 46. Варианты пультов СМИ 'Полтава-1"

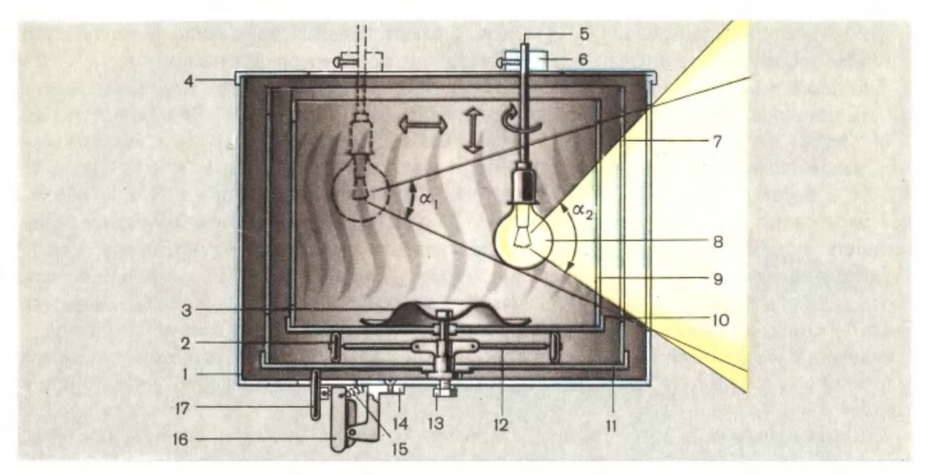


Рис. 47. Формообразующая проекционная ячейка с двойным барабаном

дну *11* внешнего барабана. От него к дну внутреннего барабана вращение передается четырьмя обрезиненными роликами *2* (на рис. показаны два из них), укрепленными на качающихся осях *12*.

Оба барабана вращаются в противоположные стороны вокруг общего вала *13*. Для надежного контакта между доньями они сжаты пружиной *3*. Это обеспечивает равномерное и плавное вращение барабанов. Барабаны можно легко извлечь из доньев, перевернуть на 180°.

Конструкция ячейки "двойной барабан" позволяет управлять масштабом изображения перемещением лампы *8* относительно стенки внутреннего барабана *9*. Возможно также вертикальное перемещение держателя лампы *5*, что используется, как при юстировке всех светопроекционных ячеек и при сведении изображения на одном экране, так и для композиционного совмещения световых образов. Манипулировать источником света при подготовительной работе ВОУ можно вручную, а во время концертного исполнения лучше это делать дистанционно. Втулка *6* для закрепления источника света перемещается относительно верхней крышки *4* проекционной ячейки.

Конструктивную высоту барабанов определяют исходя из выбранного размера экрана и расстояния до него, так как нужно обеспечить заполнение экрана рисунком при любом положении источника света.

Каждый из барабанов можно выполнить двуслойным и управлять сдвигом слоев. Это нетрудно сделать, по крайней мере, для внутреннего барабана, расположив электропривод с подвижным кольцевым токосъемником в центре, над прижимной пружиной *3*. Такая конструкция позволяет светохудожнику изменять конфигурацию световых образов, а также управлять их исчезновением или появлением при полной яркости источников света (если сделать промежутки между прорезями, равными по размерам самим прорезям).

Все перечисленные приемы управления формой могут показаться излишне усложненными или трудно выполнимыми. Но зато им сопутствует увеличение числа степеней свободы управления формой на экране, выявленное светохудожником на практике. В некоторых конструкциях изобретатель ввел дистанционное управление сменой цвета. Сделать это нетрудно, поскольку корпус ячейки цилиндрический, а наибольший необходимый на практике угол раскрытия по горизонтали оказался 95°. Следовательно, на цилиндрический корпус проекционной ячейки можно надеть еще один цилиндр, составленный из четырех дуговых секций, изготовленных из цветной пленки. Повора-

чивая этот цилиндр на 45°, можно окрашивать свет в любой из четырех цветов. Все это позволяет реализовать динамику светового образа по многим параметрам, что недоступно другим известным СМИ.

Конструктор испытал также независимый привод для наружного и внутреннего барабанов. Это позволяет вращать барабаны не только навстречу, но и в одну сторону, причем скорость вращения каждого из них можно варьировать в самых широких пределах. При этом возникает своеобразный эффект "набегания" световых форм.

Внешний вид проекционной ячейки показан на рис. 48, *а* и *б* (наверху виден механизм изменения масштаба). Формообразователи изготовлены из латунной фольги, на которую фотоспособом был нанесен рисунок, а затем вытравлен. После травления прямоугольная заготовка свернута в цилиндр и края спаяны. Для увеличения жесткости по окружности цилиндра сверху и снизу припаяна стальная проволока диаметром 1,5–2 мм. Барабаны можно изготавливать также из цветной пленки, можно использовать стеклянные цилиндры.

Один из вариантов СМИ "Полтава-2" для комбината здоровья в Красногорске Московской обл. изготовлен в 1978–1980 гг. СМИ снабжен пультом управления (конструктор Б. Х. Нестеренко), выполненным на базе клавиатуры электрооргана "Лель". Ползунковые регуляторы (переменные резисторы СП3-23) предназначены для плавного управления яркостью в каждом световом канале. Клавиатуру используют для дискретного выведения проекции на экран, для вспышек и световых "аккордов". Имеется также педаль плавного регулирования общей яркости всей светодинамической композиции. Независимо от того, сколько в эпизоде занято ячеек, все изображения могут быть плавно "уведены" с экрана общей педалью.

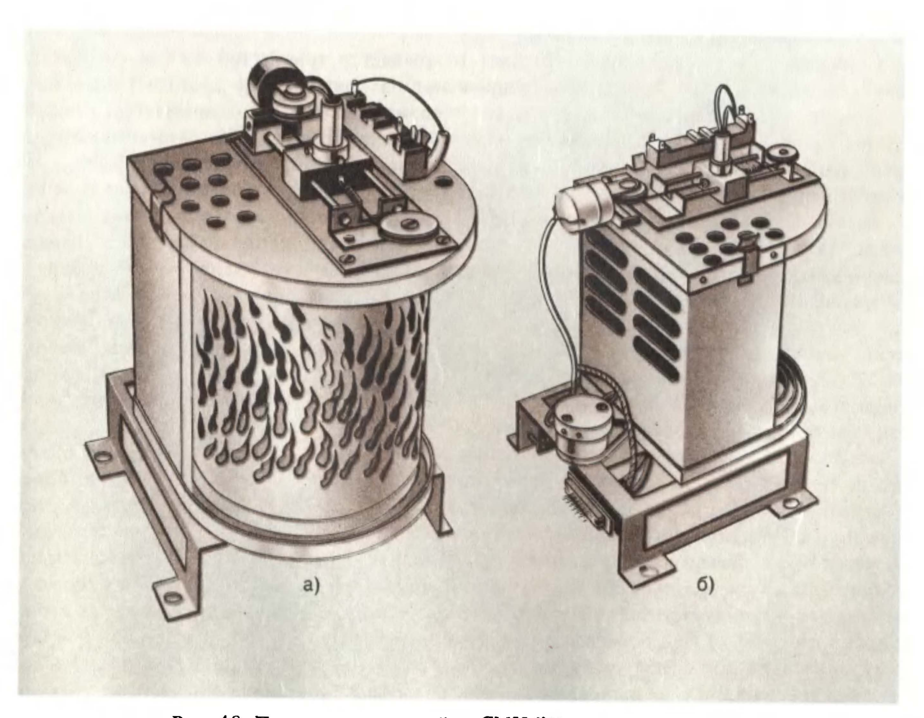


Рис. 48. Проекционная ячейка СМИ "Полтава-2"

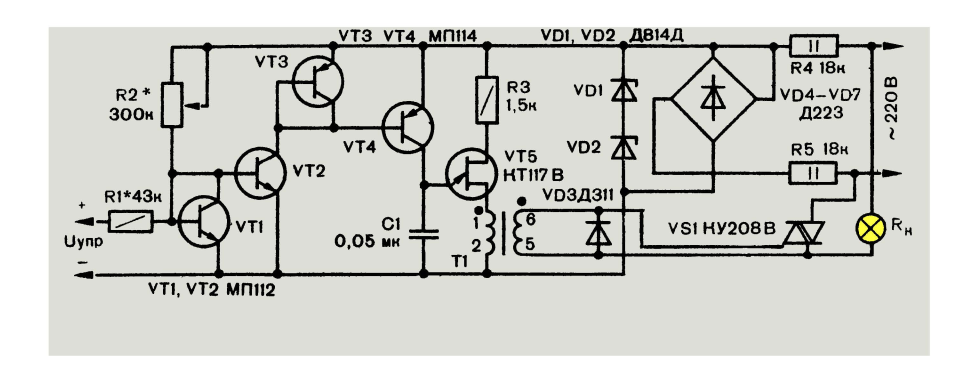


Рис. 49. Схема блока усиления мощности СМИ

Рассмотрим некоторые электронные узлы этого СМИ. Узел управления яркостью (рис. 49) собран на печатной плате, укрепленной непосредственно в проекционной ячейке для предельного укорочения токовых цепей. Узел питается сетевым напряжением 220 В через резисторы *R4* и *R5*. Это напряжение выпрямлено диодным мостом *VD4* – *VD7*. На транзисторы поступают трапецеидальные импульсы напряжением 24 В. Сигнал управления напряжением +(0–8) В подведен к базе управляющего транзистора *VT2*. Параллельно эмиттерному переходу транзистора *VT2* подключен транзистор *VT1* в диодном включении, образуя генератор тока. Далее сигнал поступает на аналогичную пару транзисторов *VT3* и *VT4*. Если управляющий сигнал отрицателен, пару *VT1*, *VT2* можно исключить.

С увеличением управляющего сигнала открывается транзистор *VT4* и начинается заряд конденсатора *C1*. Как только напряжение на конденсаторе достигнет порогового уровня срабатывания однопереходного транзистора *VT5*, он открывается, конденсатор *C1* разряжается через первичную обмотку трансформатора *T1* (применен импульсный трансформатор ТМ5-27, но можно использовать и любой другой с коэффициентом трансформации 3 : 1). Со вторичной обмотки трансформатора короткие импульсы тока поступают на управляющий электрод симистора, он открывается до конца полупериода. Таким образом реализовано фазовое управление мощностью нагрузки (лампы накаливания). При отсутствии управляющего сигнала на нить лампы нужно подавать начальное напряжение, достаточное для того, чтобы нить довести до красного каления, – это позволяет линеаризировать характеристику управления. Начальное напряжение подбирают резистором *R2*. В некоторых проекционных ячейках вместо ламп на 220 В, 150 Вт применены лампы на 127 В, работающие в режиме перекала. На них подают напряжение не более 160 В. Предельный уровень управляющего выходного напряжения устанавливают подборкой резистора *R1*.

Узел управления частотой и направлением вращения барабанов формообразователей показан на рис. 50. С движка переменного резистора *R1* управляющий сигнал через резистор *R4* подается на инвертирующий вход ОУ *DA1*. Напряжение на инвертирующем входе фиксировано на уровне около 4 В делителем *R2R3*. К выходу ОУ через резистор *R7* включен усилитель мощности на транзисторах *VT1* и *VT2*. С выхода этого усилителя ток поступает на обмотку реверсивного двигателя МКМ-2 постоянного тока. Режим управления частотой вращения выбран таким, чтобы при среднем положении движка переменного резистора *R1* ротор электродвигателя не вращался. При повороте ручки этого резистора, например влево, ротор должен вращаться влево, причем частота вращения его прямо пропорциональна смещению движка от среднего положения

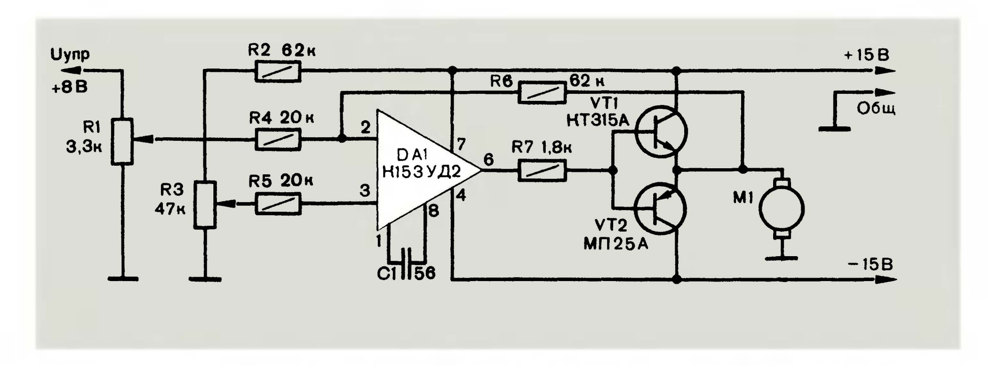


Рис. 50. Схема узла управления частотой и направлением вращения формообразователя

По такой же схеме собран и привод узла управления масштабом. Разница заключается лишь в том, что резистор *R3* установлен непосредственно в ячейке и его движок связан с механизмом перемещения лампы. Как только ручкой управляющего резистора *R1* на пульте управления вводят небольшое рассогласование, электродвигатель

Рис. 51. Композиции С. М. Зорина



Рис. 51. Композиции С. М. Зорина

M1 начинает перемещать лампу и одновременно передвигать движок резистора *R3* до тех пор, пока рассогласование не будет скомпенсировано, и ротор двигателя остановится.

Завершая описание СМИ "Полтава-2", следует констатировать, что вполне возможно создание гибкого светоинструментария, пусть и не претендующего на универсальность, но способного реализовать необходимое многообразие сложных светодинамических композиций (рис. 51, *а*, *б*).

11. СМИ на базе стандартных слайдпроекторов

В радиотехнической литературе последних лет, прежде всего в журнале "Радио", появился ряд описаний простейших так называемых цветомузыкальных инструментов (ЦМИ), обеспечивающих лишь изменение яркости и цвета экрана. В них с помощью современных электронных средств решаются, по сути дела, те же задачи, которые ставили себе в начале века пионеры светомузыки, ограничивающие возможности нового искусства бесформенным цветовым сопровождением музыки. Но решения этих простых задач изобретатели достигают применением довольно сложных схем и конструкций, которые неоправданно удостаиваются порою их авторами высокого звания "цветомузыкальный синтезатор", "цветомузыкальный орган" [15, 18, 19, 32, 33]. Опыт показывает, что удовлетворительную цветовую динамику можно получить более доступными средствами, предполагающими, правда, некоторые сложности при исполнении, – с помощью двух обычных стандартных диапроекторов, направленных на один экран (рис. 52, *а*). При этом следует пользоваться диапроекторами, которые могут работать с диапозитивными кассетами и специальным двуканальным регулятором яркости, обеспечивающим работу в режиме "наплыва". Если в диапозитивные рамки поместить не слайды, а чистые светофильтры, и включать диапроекторы поочередно, плавно меняя при этом яркость в каждом из них от минимума до максимума и обратно (рис. 52, *б*), можно получить практически любую динамику[1] цвета на экра-

---

[1] Скорость смены цвета на экране ограничена техническими возможностями диапроекторов. – *Прим. ред.*

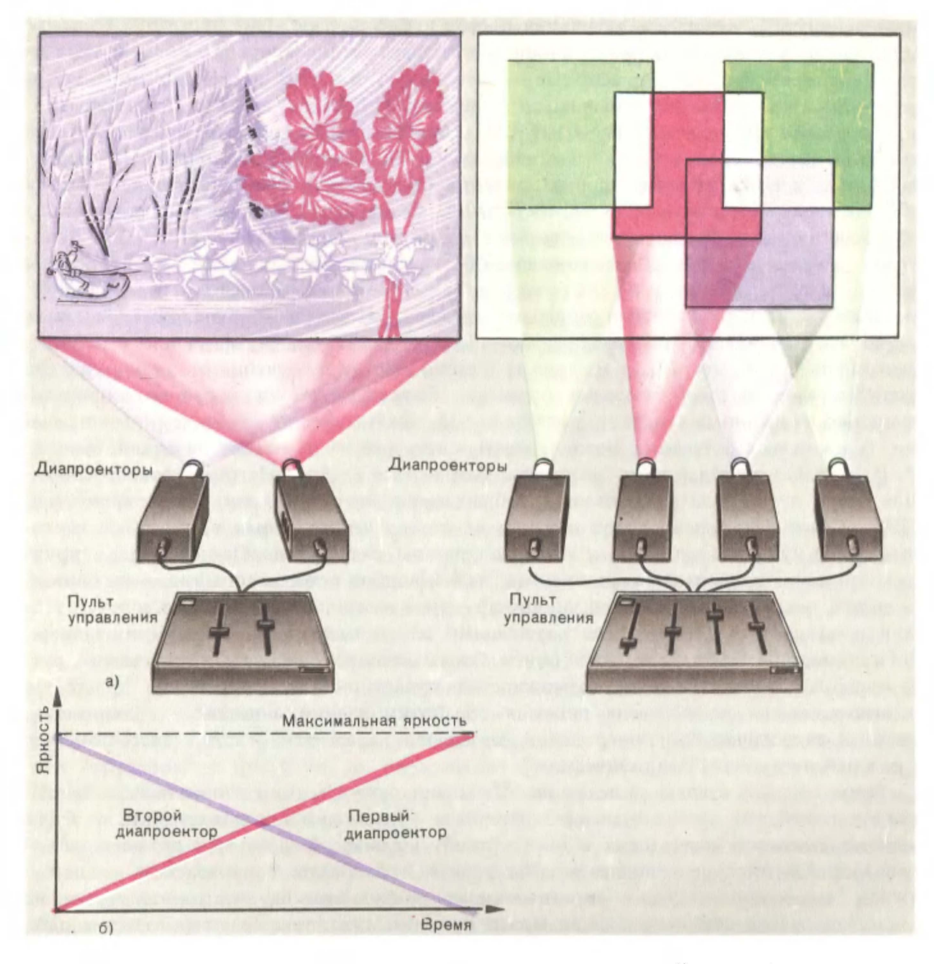


Рис. 52. Работа двух диапроекторов в режиме "наплыв" (*а*) и график изменения их яркости (*б*)

Рис. 53. Диапроекционный СМИ "Мондриан"

не. Естественно, смена слайда в каждом диапроекторе происходит в то время, когда его проекционная лампа выключена. Последовательность смены цветов устанавливают заранее выбором порядка светофильтров в кассетах диапроекторов.

Такой СМИ удобен тем, что цветовые слайды можно легко менять, переставлять в кассете, корректируя цветовую партию произведения. Число слайдов в кассете проектора обычно равно 36 или 50, так что удвоенного их числа, если учесть оба диапроектора, достаточно для сопровождения довольно продолжительных музыкальных произведений. Светофильтры используют или пленочные триацетатные, или желатиновые.

Возможности СМИ на базе слайдпроекторов, как мы видим, ограничены, и если уж работать с бесформными цветными слайдами, то намного эффектнее выглядит картина на экране при использовании нескольких диапроекторов с разнесенными и перекрывающимися полями проекций (рис. 53). Меняя яркость каждого из проекторов,

можно получить интересные сочетания цветов в зонах перекрытия проекций. Картины получаются похожими на композиции голландского художника П. Мондриана, поэтому подобное устройство, испытанное в СКБ "Прометей" несколько лет назад, и получило столь необычное название (оно описано в [25, с.125]).

Но все же диапроекционные СМИ лучше использовать для воспроизведения более сложных световых композиций, сохранив режим "наплыва", только при этом необходимо внести в них элементы формы, рисунка (для светомузыки этот рисунок обычно абстрактный). Абстрактные по рисунку слайды можно изготовить в домашних условиях. Их обычно рисуют фломастером, цветным лаком (цапонлаком, глифталевым) на фотопленке со смытым или отфиксированным без проявки эмульсионным слоем. Рисунок можно не только выполнять "от руки", но и формировать различными химическими, механическими и оптическими способами. Изысканные слайды морозных узоров и инея легко изготавливают, например, с помощью раствора гипосульфита или мочевины, нанесенного на пленку (или на тонкое стекло). После высыхания этот узор следует защитить вторым слоем прозрачной пленки. Интересный результат дает мозаичная аппликация из небольших кусков светофильтров, зажатая между двумя тонкими стеклами. В некоторых случаях ее можно кашетировать фигурной рамкой из черной бумаги.

И, конечно, удобнее всего создавать абстрактные слайды обычным фотоспособом. Для этого лучше всего использовать обращаемую цветную пленку "Орвохром" или "ЦО". Объектом съемки могут служить не только нарисованные абстрактные картины, узоры или орнаменты, но и объекты природы, снятые в необычном виде, – крупная структура древесной коры, гранита, песка, водной поверхности, световых бликов в листве, микросрезы растений, микроструктура металла, жидких кристаллов и т. д. При этом следует пользоваться различными специальными съемочными насадками, фильтрами, призмами, применять прием "смазывающего" движения при съемке, расфокусировку. Большой запас возможностей трансформации изображения кроется и в использовании специальных приемов обработки пленки и печати – соляризация, двойная экспозиция при копировании, негативная перепечатка и т. д. – здесь поможет вам в работе журнал "Советское фото".

Внимательный взгляд светохудожника может открыть вокруг практически бесконечное количество изобразительного материала – не только для фотосъемки, но и для непосредственного помещения в диапозитивную рамку. Возьмите, к примеру, обычный осенний лист, прогладьте теплым утюгом, обмакните в прозрачный цапонлак, чтобы "зафиксировать" его – и вот на экране причудливая паутина тонких прожилок листа, которая в светокомпозиции может изменить цвет, трансформироваться в рябь водной поверхности и т. д. Весьма осторожно, только там, где это оправдано художественным замыслом, можно вводить в светомузыкальную композицию и откровенно узнаваемые изображения реальных объектов – солнца, цветов, людей и т. д.

Впрочем, музыкальный монтаж можно построить целиком на реальных изображениях (включая и копии картин художников). Результаты подобного аудиовизуального синтеза напоминают кино, только изображение здесь всегда с большей разрешающей способностью и имеется возможность сиюминутного перемонтажа кадров (слайдов). Подобная форма художественного воздействия получила специальное название "слайдомузыкальные спектакли" и широко применяется сейчас в практике дискотек, в театре, на эстраде, при оформлении выставок. Опыт работы в этом жанре ценен не только сам по себе но может подготовить и к более сложному визуально-музыкальному синтезу в светомузыке.

Интересный эффект, подобный известному зрелищному приему "Латерна магика", получается, если слайд-композиция содержит изображения актеров, находящихся при этом "живьем" на сцене. В театральных слайд-композициях по сравнению со светомузыкальными задача все же облегчается, так как в "арсенал" изобразительных средств можно включить и покупные слайды. Но и в этом случае остается место для творческой выдумки светохудожника. Например, отпечатайте с цветного слайда цветка черно-

белый позитив, вставьте их в смежные кассеты – и на ваших глазах черно-белая фотография розы на экране медленно становится цветной. А это изображение затем растворится в чистом цвете и погаснет (в кассетах соответственно – светофильтр, а за ним – непрозрачный слайд из черной бумаги). Просто, но эффектно! А если одуванчик превращается в солнце или в лицо девушки, из структуры коры медленно "проявляется" изрезанное морщинами лицо старика, которое затем превращается в морщины гор, снятых со спутника или с самолета – налицо яркий и очевидный художественный образ юности и вечности.

Очень впечатляет в слайдомузыкальных программах сочетание в режиме "наплыва" абстрактных и реальных слайдов. И хотя во всех этих случаях на экране нет реального движения световых образов в плоскости экрана, при умелом совмещении слайдов его заменяет временная динамика изображения – конечно, здесь нужен своеобразный талант, вкус, умение согласовывать пластику совмещаемых изображений, и не только по контуру рисунка и сюжету, но и по плотности, и по колориту. Впрочем, не исключено и дополнение слайдовых музыкальных композиций реальной динамикой световых бликов, пятен, волн, как это делает, например, светохудожник С. М. Зорин, оживляя реальные пейзажи движением "облаков", мерцанием воды, вспышками молний. Для этого он дополняет диапроекционные приборы светоживописными устройствами, которые описаны в предыдущем параграфе.

В подобных аудиовизуальных комплексах желательно использовать диапроекторы с дистанционным управлением сменой слайдов. (Сводный перечень характеристик отечественных диапроекторов см. в [14].) Сами приборы необходимо немного доработать – от проекционных ламп сделать отдельные выводы для подключения их к регулятору напряжения. В "Протоне" и "Кругозоре" эти переделки минимальны, так как в них установлены проекционные лампы на 220 В. А в "Альфе", "Свитязе-авто", "Пеленге" применены мощные низковольтные лампы (24 В, 150 Вт), и поэтому в регуляторах, в этом случае, каждый БУМ подключен к силовой обмотке трансформатора соответствующего диапроектора. В диапроекторах с ручной сменой слайдов никаких переделок не требуется, их подключают непосредственно к выходу регулятора. Но во время демонстрации слайдопрограммы их должен обслуживать сам оператор.

В экспериментах, проводившихся в МГУ (г. Москва), С. М. Зорин использовал модернизированные им диапроекторы "Альфа", а регуляторами напряжения служили обычные автотрансформаторы ЛАТР. Широкий интервал вращения ручки управления обеспечивает медленное и плавное изменение яркости лампы диапроектора. В СКБ "Прометей" выбрали другой вариант установки, испытанный в действии в нескольких конструктивных решениях [44]. Остановимся на одном из них.

Принципиальная схема двухканального электронного регулятора напряжения для работы с диапроекторами "Протон" изображена на рис. 54. Работа подобного устройства управления тиристорами уже была представлена ранее на рис. 49. В этом же регуляторе яркостью источников света управляют в каждом канале независимо переменными резисторами *R6* и *R8*, ручки которых вынесены на лицевую панель. Устройство управления питается пульсирующим трапецеидальным напряжением, формируемым стабилитроном *VD10*. В начале каждого полупериода, когда амплитуда сетевого и питающего трапецеидального напряжения равна нулю, происходит одновременное закрывание тиристоров и однопереходных транзисторов, и регулятор возвращается в исходное состояние. Очередное открывание этих элементов происходит уже тогда, когда управляющее напряжение достигнет порогового уровня.

Таким образом, в течение каждого полупериода будет происходить открывание тиристора с определенной временной задержкой относительно начала каждого полупериода. Яркость лампы, включенной последовательно с тиристором, будет при этом изменяться в зависимости от этой временной задержки: чем она меньше, тем ярче светит лампа проектора, и наоборот. Регулируют задержку переменными резисторами *R6* и *R8*.

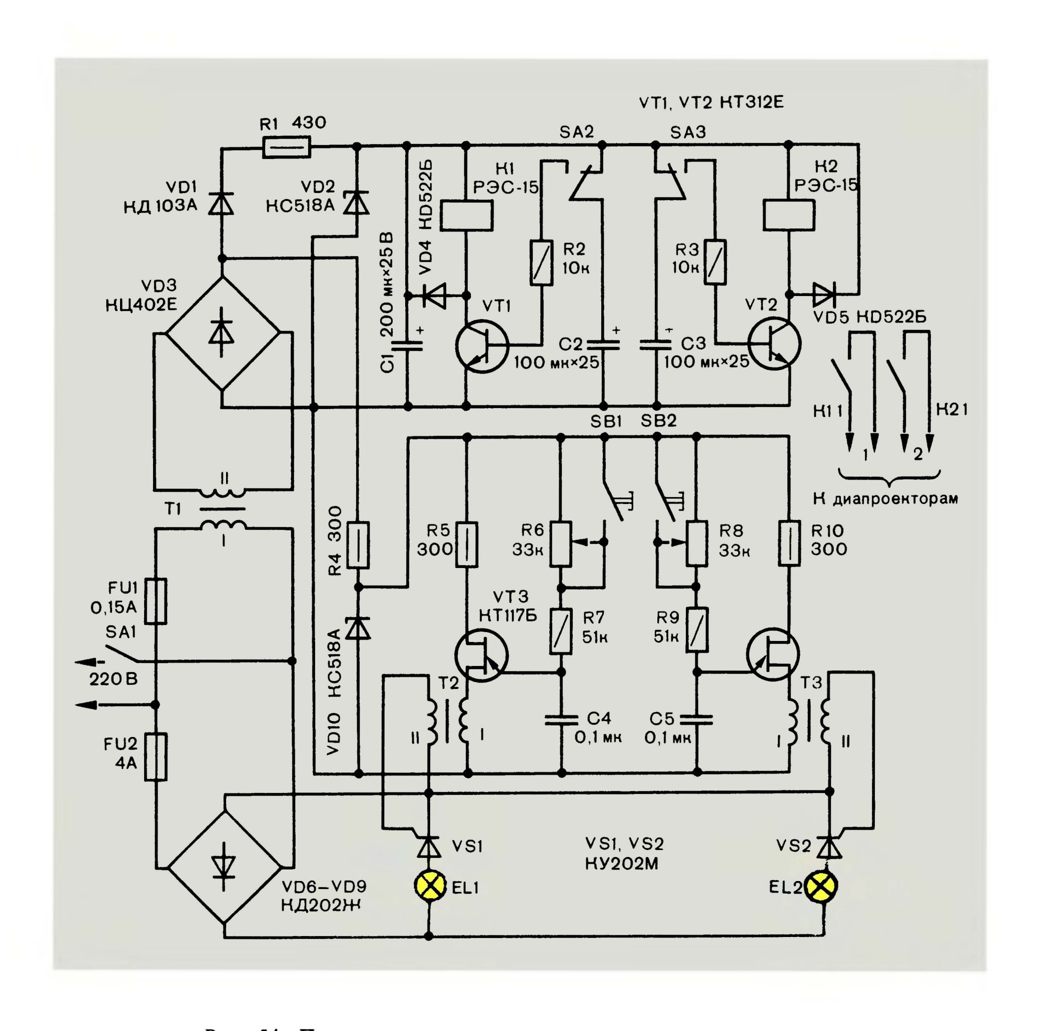


Рис. 54. Принципиальная схема пульта для управления диапроекторами

Чтобы смена слайда производилась в тот момент, когда лампа проектора выключена, переключателем, например *SA2*, запускают времязадающее устройство на транзисторе *VT1*, замыкающее на 1 с контактами реле *K1.1* цепь смены слайдов. Конструктивно переключатели *SA2* и *SA3* установлены так, что их контакты замыкаются в крайних положениях соответствующего переменного резистора. Для возможности мгновенного включения одного изображения в наложении на другое в каждом канале дополнительно предусмотрены соответствующие кнопочные выключатели *SB1* и *SB2* (например, КМ1-1).

Проекционные лампы *EL1* и *EL2* включены в канале последовательно с тиристором. Поскольку тиристор пропускает только один полупериод напряжения, для нормальной работы ламп их необходимо питать от отдельного двухполупериодного выпрямителя (на схеме *VD6* – *VD9*) или применить встречно-параллельное включение двух тиристоров в каждом канале. Самым же оптимальным вариантом является использование

симметричных тиристоров – симисторов КУ208В или КУ208Г. Тогда можно обойтись без дополнительного выпрямителя.

Трансформатор *T1* должен обеспечить на вторичной обмотке переменное напряжение не менее 40 В, амплитуда пульсирующего напряжения в цепи питания регуляторов – около 20 В, в цепи питания времязадающих устройств – 18 В. Реле К1 и К2 РЭС15, паспорт РС4.591.004П2. Импульсные трансформаторы *T2* и *T3* – серийные, например И-46 или И-47. Их можно намотать и самостоятельно на кольцах типоразмера К10×6×6 из феррита 1000НН; в каждой обмотке по 40 витков провода ПЭЛШО 0,12.

Конструктивно этот регулятор выполняют в виде небольшого пульта (или встраивают в общий пульт многофункционального назначения). Ручку каждого из регуляторов удобно сделать в виде длинного рычага, который сопряжен с осью переменного резистора через зубчатую передачу; можно использовать переменные резисторы СП3-23а Переключатели КМ1-1 (*SA2*, *SA3*) устанавливают под рычагом так, чтобы в нижнем его положении, когда лампа в канале погашена, происходила автоматическая смена слайда после нажатия рычага на кнопку. Регулятор может быть функционально расширен для управления не двумя, а четырьмя или восемью диапроекторами – в этом случае появляется возможность значительного усложнения композиции. Естественно, при этом удобнее работать с дополнительной системой памяти на магнитной ленте, на которой заранее записывают сигналы управления каждым из диапроекторов.

Возможности подобных многоканальных диапроекционных СМИ в сочетании с полиэкранной экспозицией проверены и за рубежом (под руководством светохудожника Т. Шусмита их активно и эффективно использует нью-йоркский "Ансамбль светомузыки", который пользуется проекционной аппаратурой "Кодак"). Все подобные устройства на базе диапроекторов с автоматической сменой слайдов необходимо тщательно отрегулировать, добиться четкой и бесшумной работы автоматики. В идеальном варианте проекторы помещают в звуконепроницаемый бокс.

Естественно, возможности диапроекционной техники, использующей автоматическую смену слайдов, не ограничиваются тем, что было описано выше. На этой базе возможно создание оригинальных СМИ, обеспечивающих динамику изображения в плоскости экрана.

Рассмотрим один из вариантов светоэффектного устройства (конструкторы С. Зорин, Б. Нестеренко), работающего совместно с модернизированным слайдпроектором "Свитязь" (рис. 55,*а*).

Прежде всего необходимо изготовить к этому проектору универсальный держатель объектива со стандартной резьбой 42 мм. Это позволяет применять любые фотообъективы с нужным в каждом конкретном случае фокусным расстоянием. Верхняя крышка – от диапроектора "Свитязь-М", так как в ней имеется окно для приставки, позволяющей показывать диафильмы. Вместо этой стандартной приставки в тех же габаритах разработана другая, позволяющая превратить прибор в светоэффектный проектор. Внутри приставки от дополнительного электродвигателя может с разной частотой и в разные стороны вращаться кольцо, например, из негативной черно-белой фотопленки с нанесенным на нее контактным способом рисунком. В кадровом окне противоположные стороны этого кольца поджаты друг к другу и движутся навстречу одна другой на расстоянии около 1,5 мм. Объектив фокусируют на точку между слоями, чтобы слегка размыть изображение от каждого слоя, иначе оно будет слишком "жестким" (резким по контурам). Дополнительный блок позволяет дистанционно управлять сменой цвета формы. Для этого сигналами с пульта приводится во вращение диск из шести разноцветных секторов, перекрывающих луч, выходящий из объектива. Диск из светофильтров вращается от отдельного электродвигателя в разные стороны с разной частотой. Блоки, управляющие яркостью лампы и вращением роторов обоих электродвигателей, собраны на печатных платах и смонтированы также внутри проектора.

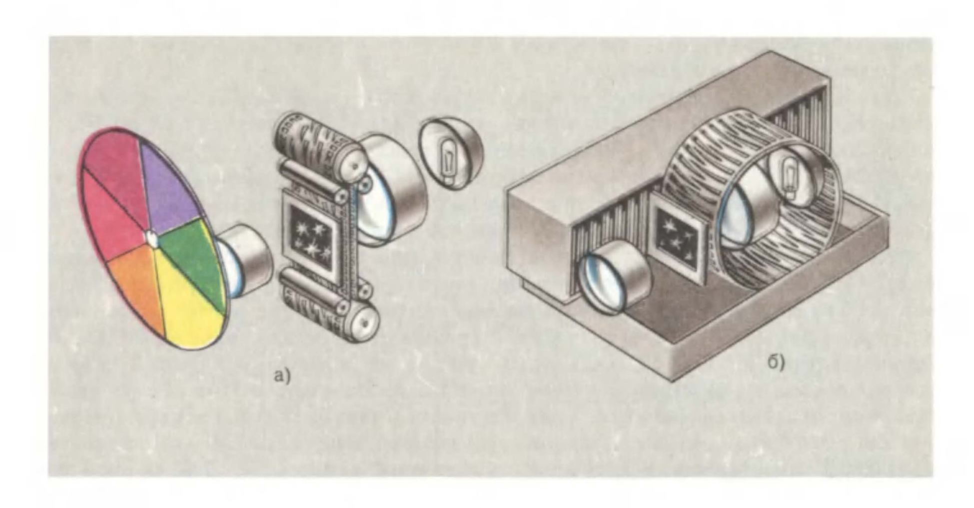


Рис. 55. Светоэффектные устройства на базе слайдпроекторов: *а* – с кольцевой пленкой (конструктор С. М. Зорин); *б* – с автоматической сменой статоров (конструкция СКБ "Прометей")

Еще большие возможности открываются, если в таких проекторах с автоматической сменой слайдов использовать совмещенные возможности формообразования, представленные на рис. 15 и 17. Конечно, это требует серьезной их доработки, вплоть до изменения оптической системы. В СМИ теневой проекции, как было показано ранее, каждый из проекторов, содержащий одного вида пару ротор–статор, обеспечивает определенный и повторяющийся светодинамический эффект. Для того чтобы получить новую картину, надо прежде всего сменить статор, определяющий общую структуру изображения, что обычно делают вручную, т. е. только во время паузы между музыкальными произведениями. Вследствие этого светохудожник вынужден выходить из положения тем, что оперирует большим числом заранее подготовленных проекционных ячеек с различными статорами (роторы у них тоже могут быть разными, но их вариантность обычно не столь велика, как у статоров).

Если изготовить ротор так, чтобы его просвечиваемая зона размещалась близко к фокальной плоскости фильмового канала слайдпроектора (рис. 55, *б*), то статоры можно разместить в рамках от диапозитивов и подавать их в фильмовой канал автоматически, сигналом с пульта. И статор, и ротор изготовляют из контрастной фотопленки, черной бумаги, в которой необходимый рисунок вырезают или выжигают, либо из тонкой медной фольги. В диапозитивную рамку статор, естественно, помещают со своим светофильтром. Таким образом, один модернизированный слайдпроектор может заменить 36 (или 50) обычных последовательно действующих крупногабаритных световых ячеек теневой проекции. Разумеется, такой проектор должен работать в режиме "наплыв", совместно с несколькими другими подобными проекторами, имеющими роторы с иным рисунком. Добавим сюда возможность реверса и изменения скорости роторов. Несколько проекторов подобного рода позволят обеспечить воспроизведение сложнейших светодинамических композиций большой продолжительности.

12. СМИ линзовой проекции

В качестве основного примера рассмотрим СМИ "Прометей-3" (авторы проекта Б. М. Галеев, Р. Ф. Сайфуллин, В. П. Букатин). СМИ находится в Казанской

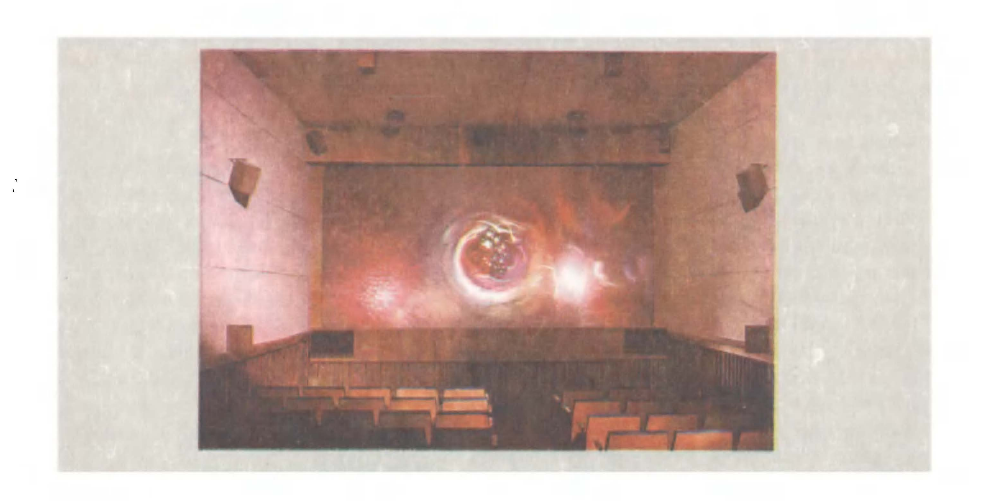


Рис. 56. Зал светомузыки в Казани

студии светомузыки, работает на плоский рирэкран размером 5×2,5 м (рис. 56). Структурная схема СМИ показана на рис. 57. Он имеет 12-канальный пульт с такими же рукоятками управления, как в СМИ "Харьков". В пульте использованы узлы стандартного театрального светорегулятора "Спутник-12". (Кроме того разработан упрощенный вариант на базе шестиканального регулятора РО1-6, в котором совмещены в одном корпусе ПУ и БУМ [26].) На выходе каждого из двенадцати БУМ – входящих в состав светорегулятора (тиристорные блоки РТ-3), – включено шестиканальное коммутационное устройство КУ, позволяющее подключать к БУМ во время светоконцерта любой из шести закрепленных за ним световых проекторов и в любых комбинациях. Таким образом, общее число проекционных устройств в СМИ получается равным семидесяти двум. Исполнительными механизмами КУ светохудожник управляет с ПУ непосредственно во время исполнения светокомпозиции. С пульта он управляет также и исполнительными механизмами в ВОУ. Все сигналы управления можно записать в запоминающее устройство ЗУ.

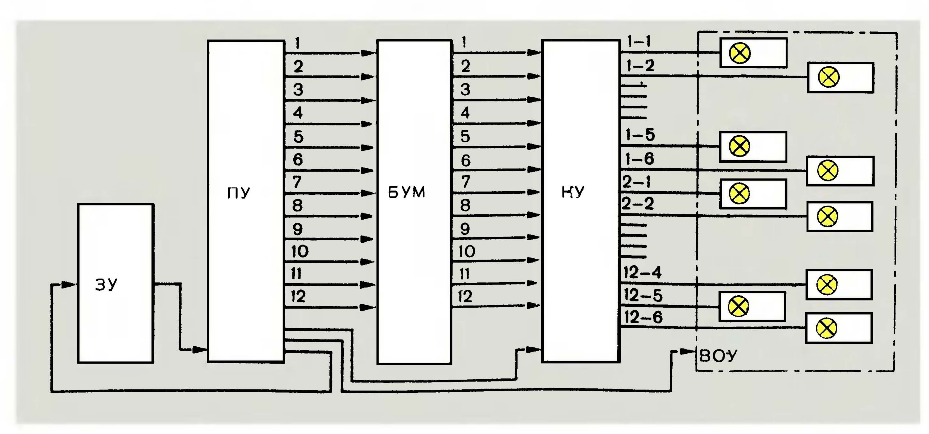


Рис. 57. Структурная схема СМИ "Прометей-3"

Рассмотрим вначале ВОУ этого СМИ, которое содержит проекторы разного принципа действия. Остановимся здесь на тех, что основаны на линзовой проекции. Причем линзовую проекцию надо понимать в нашем случае широко: от обычных кино- и диапроекторов до специальных светоэффектных устройств, где линзы используют уже в непривычном назначении.

Одной из самых трудных задач неожиданно явилось создание равномерной цветной засветки всего рирэкрана. Стандартные просветные экраны дневного кино оказались малопригодными из-за наличия "горячего пятна". На экран приходится накладывать изнутри плотно прилегающую папиросную бумагу, кальку, астролоновую пленку или целиком делать экран из этих материалов, сложенных в несколько слоев. Иногда фоновую засветку выполняют зеркальными лампами или несколькими светильниками НП-2. Но, если позволяет глубина заэкранной шахты, удобнее всего использовать упомянутые выше слайдпроекторы в режиме "наплыва" с цветными фильтрами. В случае, если нужна большая мощность, применяют театральные проекторы ПР-1, ПР-3, ПРУ-1. Они снабжены линзами Френеля и создают на экране круглое пятно. Но если их доукомплектовать съемной конденсорной обоймой ОСК-150 или ОСК-200 и короткофокусным объективом, то они могут засветить уже весь экран.

Эти проекторы используют и для создания сложных светодинамических композиций. В СМИ "Прометей-3" их сочетают со стандартными светоэффектными насадками ПП-2, УПП-ЭФ. Насадка ПП-2 (см. рис. 17, *г*) содержит две кассетные рамки с волнистой проволочной сеткой, перемещающиеся в фильмовом канале возвратно-поступательно, со сдвигом фазы одной относительно другой. В театре насадку используют для проекции изображения воды. Заметно меняется фактура изображения, если дополнить эту сетку каплями прозрачной смолы на волнистой проволоке, закрепленными на ней мелкими обрезками пленки, светофильтров, тонкого провода, ниток и т. д.

Картина становится иной при повороте квадратных по форме кассет на 90°. В эти кассеты можно помещать любые плоские оптически неоднородные материалы (рифленое стекло разной текстуры, термостойкие пленки с точечным или линейчатым растром, листы фольги с мелкими фигурными отверстиями). Взаимное движение кассет создает при этом неожиданные световые узоры – мерцающие звезды, колыхания световых волн и т. п. При помещении в них мелкой капроновой или металлической сетки экран превращается в "холст", по которому затем можно "рисовать" другими светопроекторами.

Насадка УПП-ЭФ работает с одним конденсором, но с двумя находящимися рядом объективами. Трафареты – вращающиеся соосно диски – обычно изготавливают из тонкого дюралюминия или окрашенного стекла. Здесь тоже пригодны любые структурные просвечиваемые материалы. Причем имеется дополнительный эффект: сочетание резкой проекции с одного объектива и расфокусированного – с другого. При этом резкость можно наводить на любой из трафаретов. Перед объективами иногда помещают дисковые многоцветные светофильтры (рис. 58). В самой насадке предусмотрен дискретный выбор значений частоты вращения трафаретов. При замене электродвигателя на управляемый, регулировать частоту вращения можно дистанционно.

Во всех этих проекторах непосредственно перед движущимися трафаретами предусмотрена возможность закрепления светофильтров и неподвижных трафаретов, которые целесообразно применять при необходимости воспроизведения контурных и локальных образов, проецируемых на общий чистый или фактурный фон. Естественно, структура статического изображения сама участвует в формировании проецируемого образа.

Размер проецируемого светового образа можно менять при подготовке композиции путем перемещения проектора за экраном на подвижной платформе и использования стандартных театральных объективов с разным фокусным расстоянием. На платформу (на полки) проекторы ставить удобно при наличии невысоких напольных штати-

Рис. 58. Театральный светоэффектный проектор

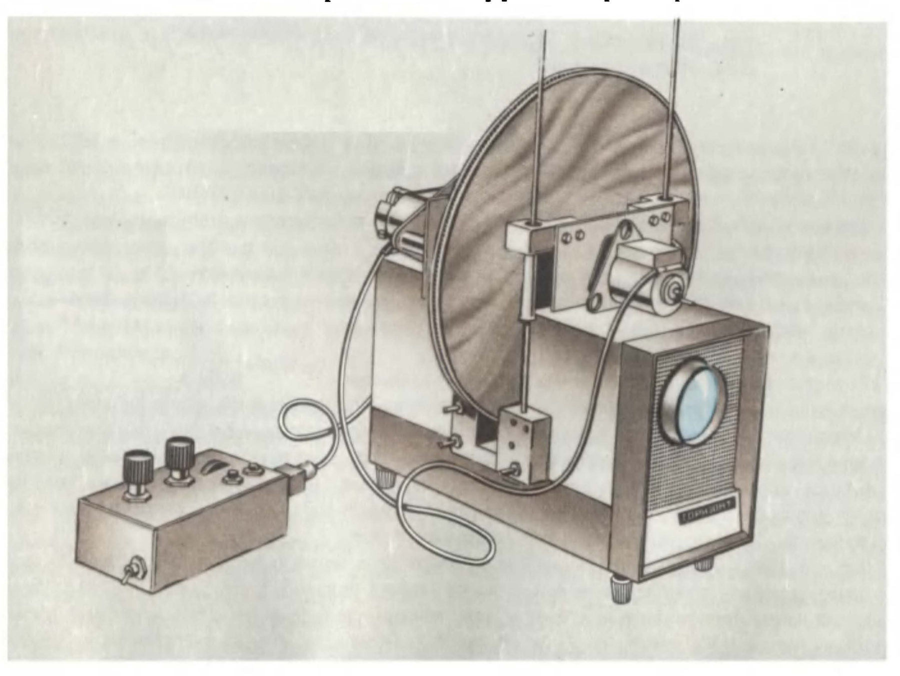


Рис. 59. Светоэффектный проектор с двумя дисковыми роторами

6. Зак 6177



Рис. 60. Проектор "Калейдофон" (на базе "ЛЭТИ-60М") с комплектом насадок и объективов

вов ШП. Высокие штативы ШТУ-1 предназначены для легких проекторов, а ШТУ-2 – для тяжелых (с обоймами, насадками). Необходимо учитывать и то, что все эти проекторы снабжены специальными кабельными разъемами ШТ-20 и ШТС-40.

Кроме мощных театральных приборов имеются и небольшие, например, выполненные на базе стандартного слайдпроектора "Горизонт" (рис. 59) и диапроектора "ЛЭТИ-60М" (рис. 60), который предназначен для демонстрации диафильмов. Для этого у него имеется съемный фильмовый канал с механизмом протяжки ленты. На его базе изготовлена эффектная насадка, в которой вращаются два дисковых трафарета так, как показано на рис. 17, *а*.

Естественно, здесь пригодны в качестве трафаретов все варианты абстрактных слайдов, описанные в предыдущем параграфе, только изготавливают их круглыми, а не квадратными. Кроме того, применяют плоские жидкостные кюветы с красителями, с погруженными в них стеклянными шариками и т. п. Звездное мерцающее небо можно получить, сделав оба трафарета из черной бумаги с мелкими отверстиями. Звезды начнут испускать лучи, если перед объективом поместить лист стекла с тонкими мазками вазелина. Лучи перемещаются при вращении стекла.

Кроме того, предусмотрена работа проектора с калейдоскопическими насадками (с трех-, четырех-, пяти- и *п*-гранными зеркальными призмами, см. рис. 61, *а*, *б*). Основание призмы вплотную примыкает к вращающемуся трафарету. Длина призмы должна быть равна 0,95 длины фокуса объектива. Объектив можно изготовить из одной линзы с фокусным расстоянием 150. . .200 мм, помещенным в свою оправу. Для наводки на резкость оправа перемещается по тубусу в пределах 30 мм. Чтобы исключить

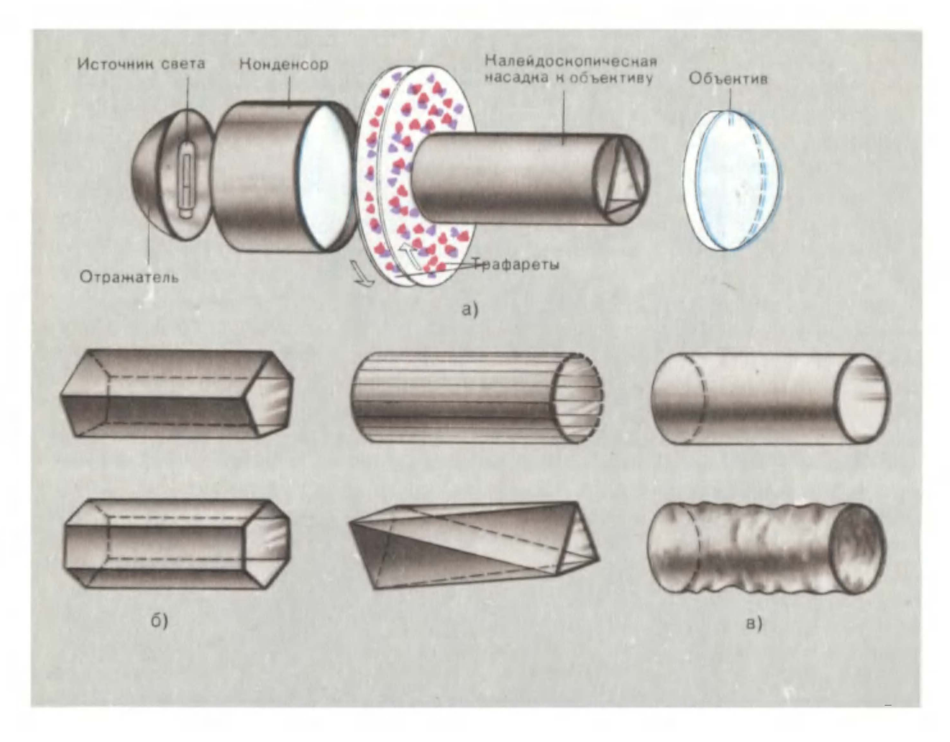


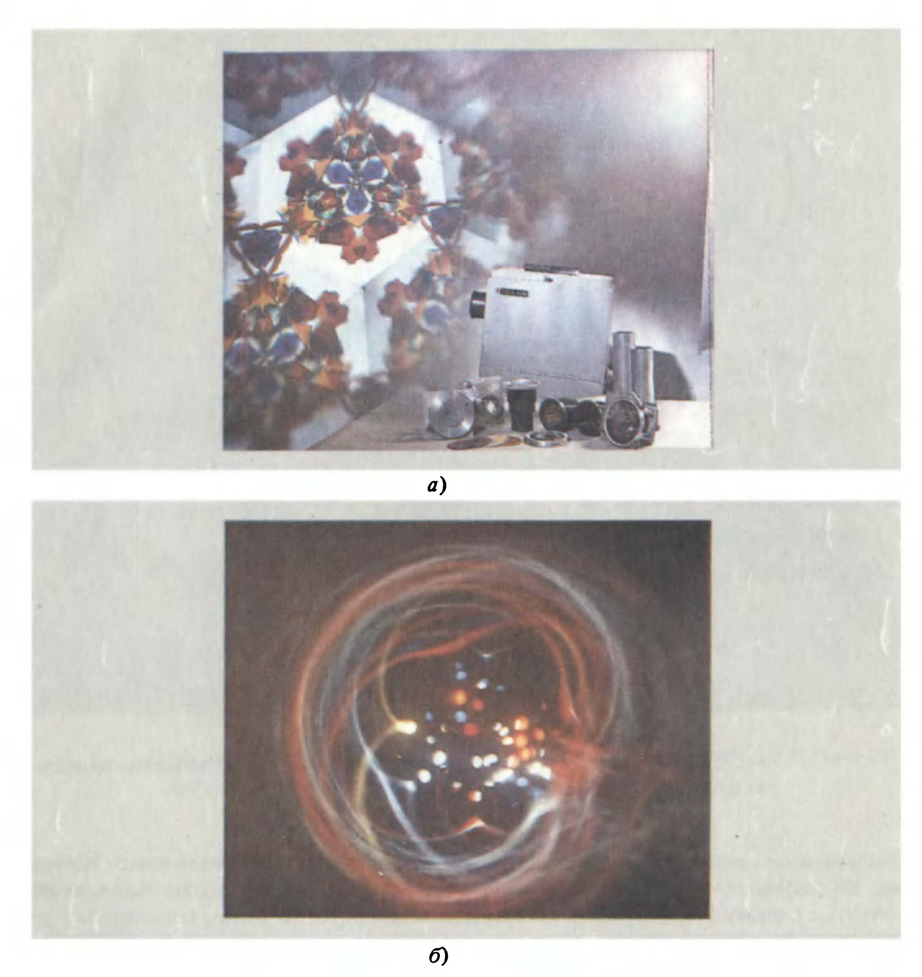
Рис. 61. Принцип действия "Калейдофона" (*а*) и исполнение калейдоскопических (*б*) и деформирующих (*в*) насадок

нежелательные двойные отражения, надо применять зеркала поверхностного напыления. Подробные сведения об изготовлении калейдоскопических проекторов можно получить в соответствующих изданиях [39].

Кроме объективов, позволяющих проецировать на экране сложнейшие меняющиеся калейдоскопические картины разной степени симметрии (рис. 62, *а*), применяют особый деформирующий объектив. Для этого внутрь тубуса помещают цилиндры из гладкой или гофрированной зеркальной пленки (рис. 61, *в*). Тогда любое проецируемое изображение окружает колышащийся аморфный ореол. Меняя фокусировку, легко получить феерические образы космических образований с "протуберанцами", фантастические "цветы" и т. п. (рис. 62, *б*).

Все перечисленные выше проекторы обеспечивают неожиданные эффекты, если светохудожник преднамеренно использует их в непривычном, краевом для обычной диапроекции режиме. Необходимо внимательно ознакомиться со всеми искажениями, недостатками, которыми страдает обычная оптика. Если в традиционной проекционной оптике конструкторы прилагают все усилия для того, чтобы устранить комы, аберрации в оптических системах, то при взгляде на эти дефекты глазами светохудожника, они неожиданно откроются нам как поразительные светоживописные эффекты. Поэтому иногда преднамеренно приходится использовать, так сказать, плохие объективы (с одной линзой, с "зазеркаленным" тубусом и т. д.).

Техника кино предназначена для репродуцирования, а техника СМИ – для продуцирования изображения. Естественно, подвластной будет эта необычная оптическая техника лишь тому, кто сумеет понять природу дефектов и предельно выявить их



а)

б)

Рис. 62. Проектор "Калейдофон" в действии

светоживописный потенциал. И законы формообразования такой продуктивной световой проекции намного сложнее, чем в обычной геометрической оптике, которая лежит в основе кинотехники. Светомузыкальная же техника еще ждет теоретического обоснования общих принципов формообразования. А пока его нет, приходится полагаться на эксперимент, на светотехническое чутье, которым обладают лучшие конструкторы СМИ.

Расскажем о некоторых находках, используемых в СМИ "Прометей-3".

Если взять известный всем зеркальный шар (рис. 63) и подвести к нему вплотную линзовые прожекторы ПР-300М, то при их расфокусировке на экране поплывут световые шары.

Направим линзовый прожектор ПР-05 (или ПР-1) на плоскую ванну с водой, на дне которой лежит зеркало – при колебании поверхности воды, положим, от струи воздуха от вентилятора, на экране будут видны блики "пламени".

Как получить движущийся по кругу шар? Надо взять для этого зеркальный отражатель от прожектора с отверстием в середине и поместить туда небольшую вращаю-

щуюся лампу. Изготовить отражатель можно и самостоятельно из зеркальной пленки, обклеив ею изнутри старый комнатный нагреватель-рефлектор.

Свет от любого описанного выше проектора, направленный предварительно на зеркальную пленку, даст на экране при отражении сложнейшую светодинамическую картину. И результат в значительной степени будет зависеть от формы и движения самого отражателя.

Яркие и контрастные проекции обеспечивает метод, иллюстрированный рис. 15, *з*, если крупные круглые отверстия на обоих дисковых роторах закрыть линзами, а в промежутках просверлить небольшие отверстия (диаметром 2–4 мм). Пример решения такого светоэффектного проектора показан на рис. 64. Линзы и отверстия проецируют на экран движущиеся и деформирующиеся изображения светящейся нити лампы. Деформация здесь довольно сложная, так как линзы и отверстия "наезжают" одни на другие в разных сочетаниях, проекции при этом неузнаваемо преображаются. Причем на ближнем экране изображение будет иным (рис. 65, *а*), чем на внешнем, дальнем (рис. 65, *б*). На основе этого метода построена установка "Диско", переданная СКБ "Прометей" в серийное производство. Она сочетает режим АСМУ и СМИ с четырьмя каналами ручного управления (схема его БУМ показана на рис. 21). А в СМИ "Прометей-3" использован комплект из нескольких ВОУ этой установки. Имея набор светофильтров, разных линзовых и теневых трафаретов, подбирая лампы с разными фигурными нитями, устанавливая нити под разными углами, получают довольно интересные зрелищные эффекты, вносящие свой вклад в палитру светомузыканта.

Все эти специальные приемы линзовой (и эквивалентной ей зеркальной) проекции отличаются богатством фактуры, глубиной и контрастностью изображения, чего не могут обеспечить обычная диа- и теневая проекции. Но противопоставлять их не следует, они не исключают друг друга, подобно тому, как сосуществуют в живописи акварель, пастель, темпера и масло. Поэтому и в зале казанской студии "Прометей", как и в экспериментах Ю. А. Правдюка, С. М. Зорина ужгородской студии светомузыки, используют арсенал различных проекционных средств, которые мы представляем здесь в разных параграфах лишь для удобства их анализа.

Рассмотрим теперь более подробно устройство и работу электрических и электронных узлов СМИ "Прометей-3". На рис. 66 изображены принципиальные схемы одного сквозного канала СМИ: от регуляторов ПУ до ВОУ. На рис. 67 показан общий вид ПУ.

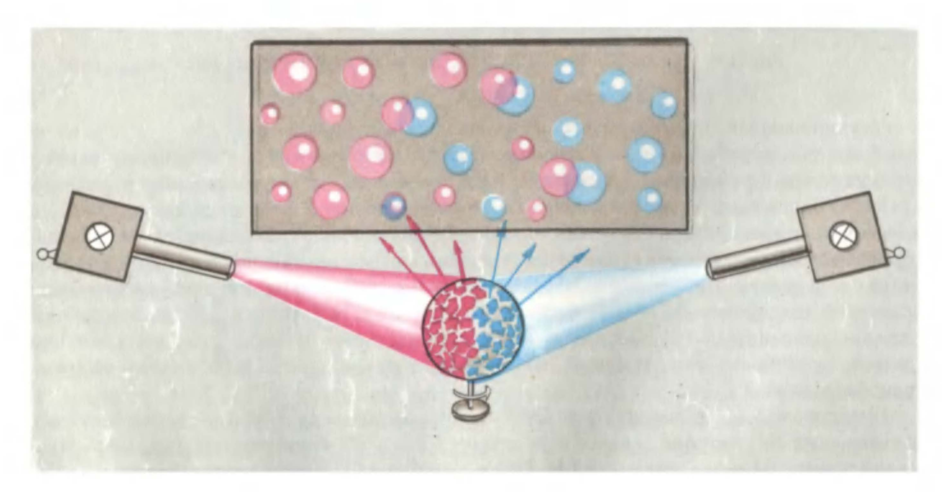


Рис. 63. Способ проецирования световых шаров

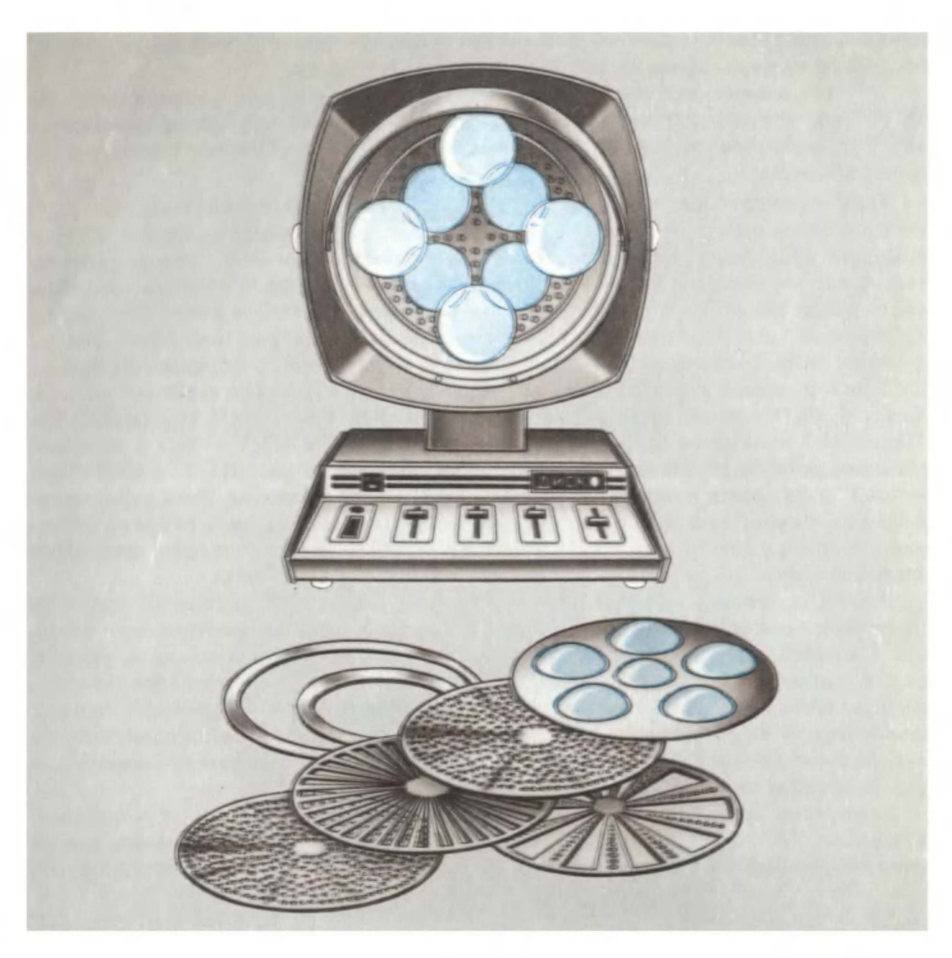
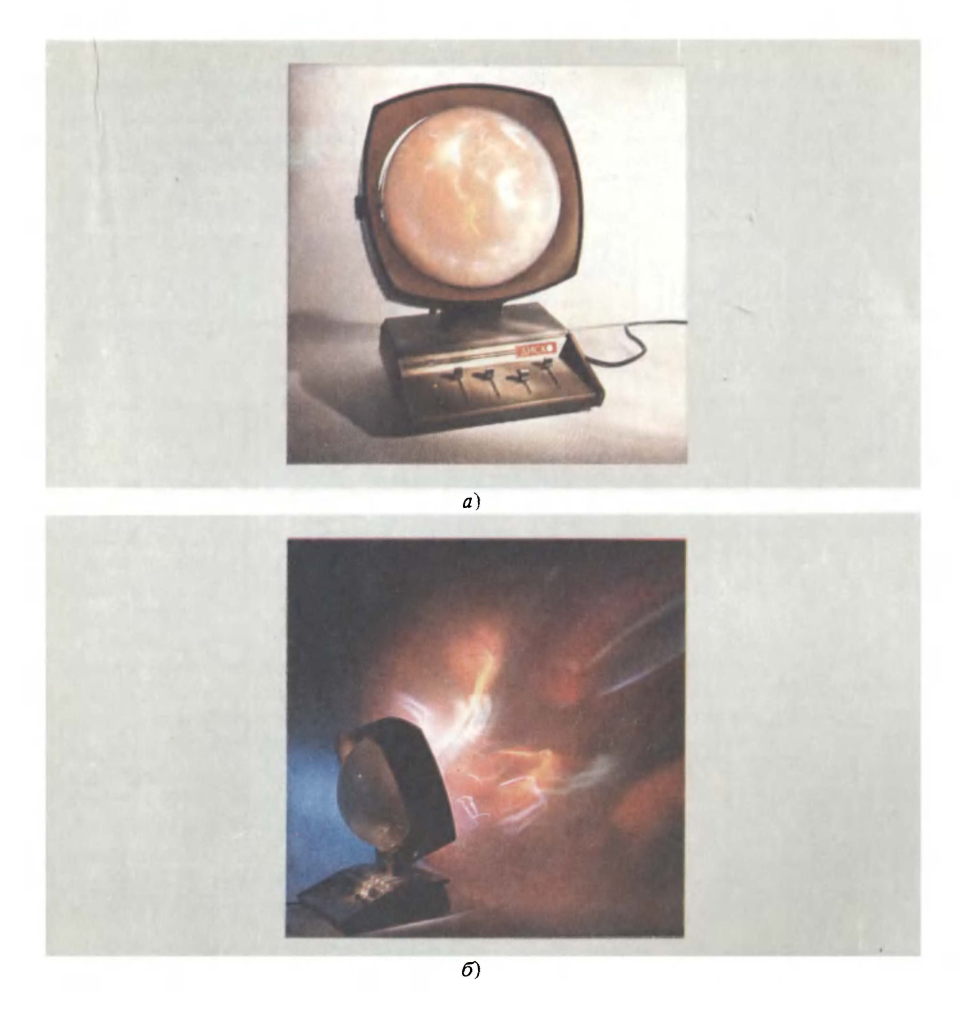


Рис. 64. Светоэффектное ВОУ "Диско" с комплектом дисковых роторов

Регулировочный трансформатор *1T1* представляет собой две соосно установленные катушки, внутри которых находится подвижный ферритовый стержень, механически связанный с рукояткой управления. При изменении позиции стержня от одного крайнего положения до другого напряжение на вторичной обмотке изменяется от 0 до 6,5 В. После выпрямления оно поступает на управляющие входы тиристорных регуляторов БУМ. Первичная обмотка питается напряжением повышенной частоты (150 Гц), которое формируется преобразователем частоты, собранным на трех одинаковых дросселях насыщения *L1* – *L3*, соединенных звездой. Нагрузка преобразователя частоты – конденсатор *C1*, предназначенный для выделения и стабилизации напряжения третьей гармоники сети, мощный подстроечный резистор *R1* и первичная обмотка трансформатора *T1*.

Тумблером *SA1* включает весь СМИ сразу – контакты тумблера замыкают цепь питания реле *K1*, которое своими контактами *K1.1* – *K1.4* подключает к сети преобразователь частоты и блок питания БП. Одновременно в БП срабатывает мощный магнитный пускатель и подключает к сети БУМ (на схеме пускатель не показан).



а)

б)

Рис. 65. Установка "Диско" в действии

Кнопками *1SB1* – *12SB1* можно получить мгновенные яркие вспышки света. Конструктивно они совмещены с клавишами, расположенными непосредственно под рукояткой управления соответствующего канала.

Элементы управления коммутационным устройством КУ вынесены на отдельное наборное поле, расположенное в ПУ. Наборное поле выполнено в двух взаимозаменяемых модификациях: на тумблерах и сенсорных датчиках. При замыкании цепи, например, тумблером *1SA1* управляющий сигнал поступает через согласующий резистор *1R1* на базу транзистора *1VT1*, работающего в ключевом режиме. С приходом управляющего сигнала транзистор открывается, открывая тиристор *1VS1* в цепи питания мощного реле *1K1*, которое своими контактами *1K1.1* подключает источник света ВОУ к БУМ1. Одновременно маломощным реле (на схеме не показано) включается цепь управления исполнительного механизма ВОУ. Такая система управления ВОУ позволяет значительно снизить уровень шума в зале, поскольку одновременно работает, как правило, ограниченное их число.

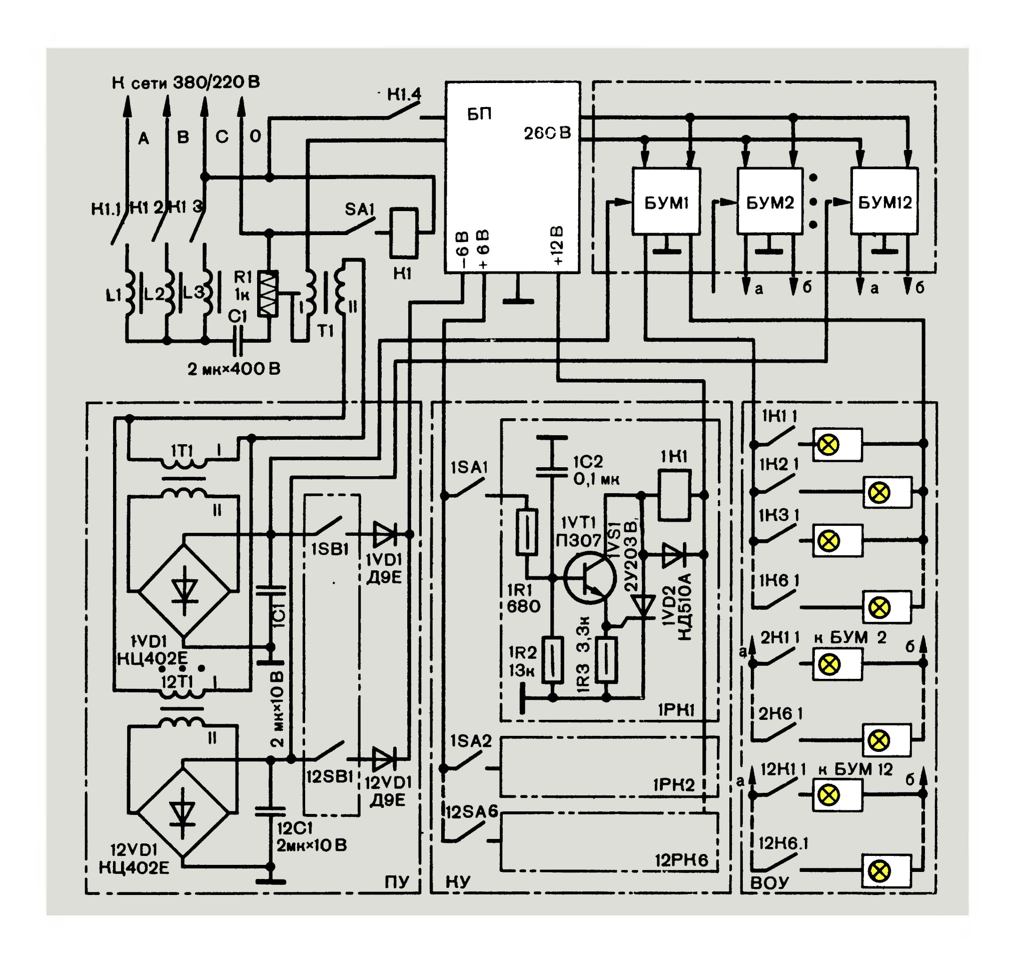


Рис. 66. Принципиальная схема одного сквозного канала управления СМИ "Прометей-3"

В ПУ и КУ используемые радиоэлементы имеют следующие технические данные. Дроссели *L1* – *L3* выполнены на магнитопроводе Ш15×20, содержат по 1800 вит. провода ПЭВ-2 0,33. Первичная и вторичная обмотки трансформатора *1Т1* намотаны на полом цилиндрическом каркасе из тонкого картона, внутри которого свободно перемещается ферритовый стержень. Первичная обмотка содержит 2500 витков, вторичная 2000 витков провода ПЭВ-2 0,12. Трансформатор *Т1* выполнен на магнитопроводе Ш15×20, первичная и вторичная обмотки содержат соответственно 500 и 100 витков провода ПЭВ-2 0,25. Реле *К1* – ПЭ20-220 В; реле *1К1. . .12К6* – РПУ-21У3; резистор *R1* – ПЭВ50; конденсатор *С1* – МБГЧ-1 2 мк × 500 В.

Конструктивно КУ выполнено на двух стойках, на каждой из них установлены шесть блоков управления и блок питания схемы. В каждом блоке управления на одной плате собрано шесть ячеек силовой коммутации со своими реле.

Более гибким и удобным по функциональным возможностям является наборное поле, выполненное на сенсорных элементах. Отличительная особенность такого поля

заключается в том, что переключение цепей исполнительных устройств происходит в момент касания пальцем сенсорных контактов. Разработанная для СМИ сенсорная ячейка позволяет выбирать один из трех различных режимов работы, которые используются во время светоконцертов – включение и удержание в рабочем состоянии исполнительных устройств только на время касания сенсора, включение касанием и выключение повторным касанием этого же сенсора; зависимое переключение между соседними сблокированными контактами касанием включают цепь первого сенсорного канала (на последующие касания этот сенсор уже не реагирует), при касании второго сенсора, сблокированного с ним, первый канал отключается, а второй, наоборот. включается и т. д.

Принципиальная схема двух сенсорных каналов показана на рис. 68, *а*, временные диаграммы его работы – на рис. 68, *б*.

Генератор, собранный на микросхеме *DD5*, вырабатывает короткие положительные импульсы длительностью 30 нс и частотой 1 МГц. В исходном состоянии на выходе элемента *DD1.1.* формируются отрицательные импульсы. При касании контакта *E1* на выходе элемента *DD1.1* формируется единичный уровень, что приводит к переключению порогового устройства, собранного на элементах *DD2.1*, *DD2.2*, и это его состояние будет сохраняться на все время касания контакта *E1*. Напряжение с порогового устройства поступает на счетный вход триггера *DD3.1* и на контакт *2*, переключателя режимов работы сенсора *SA1*. Триггер *DD3.1* переключается при касании сенсора. В зависимости от положения перемычки на переключателе *SA1* сенсор работает в одном из трех режимов.

Если перемычкой замкнуты контакты *2–3*, то в первом режиме напряжение на выходе будет только при касании сенсора *E1*. Когда замкнуты контакты *1–3*, сигнал на выход поступает с триггера *DD3.1*. В этом режиме сенсорное устройство включается и выключается только кратковременным касанием. О рабочем состоянии сенсора, независимо от режима работы, сигнализирует лампа *HL1* – СМН9-60, подключенная к выходу сенсора через элемент *DD1.2*. Конструктивно сенсор *E1* и лампа *HL1* совмещены, т. е. он выполнен в виде металлической площадки с отверстием в центре, под которым располагается сигнальная лампа *HL1*. В третьем режиме – работа двух сенсорных каналов на взаимоисключение – нужно замкнуть выводы *9*, *11* при замкнутых контактах *1* и *3* переключателя *SA1*. При таком соединении между каналами касанием сенсора *E2* изменяют уровень напряжения на выходе *1*. Если же замкнуть также выво-

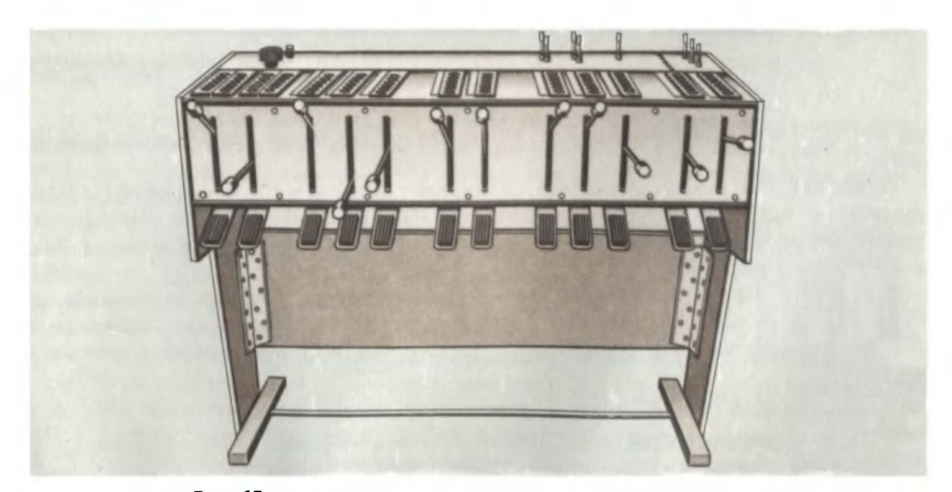


Рис. 67. Внешний вид пульта управления

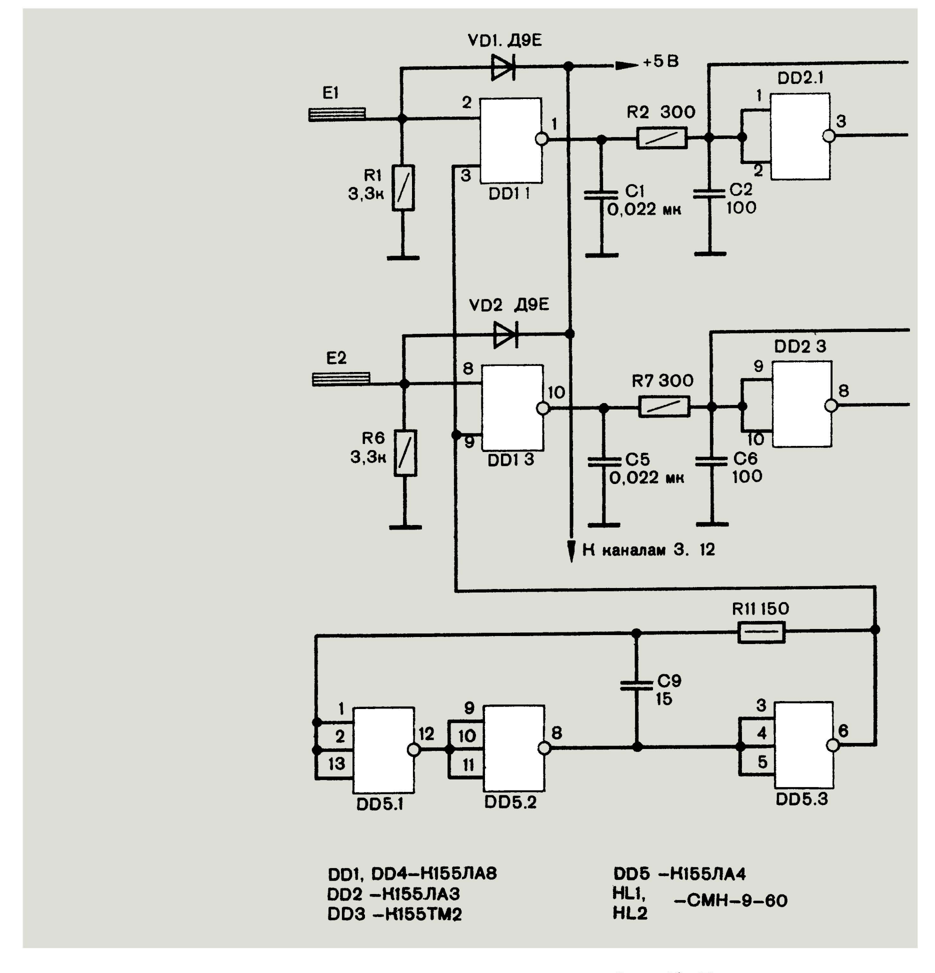


Рис. 68. Принципиальная схема

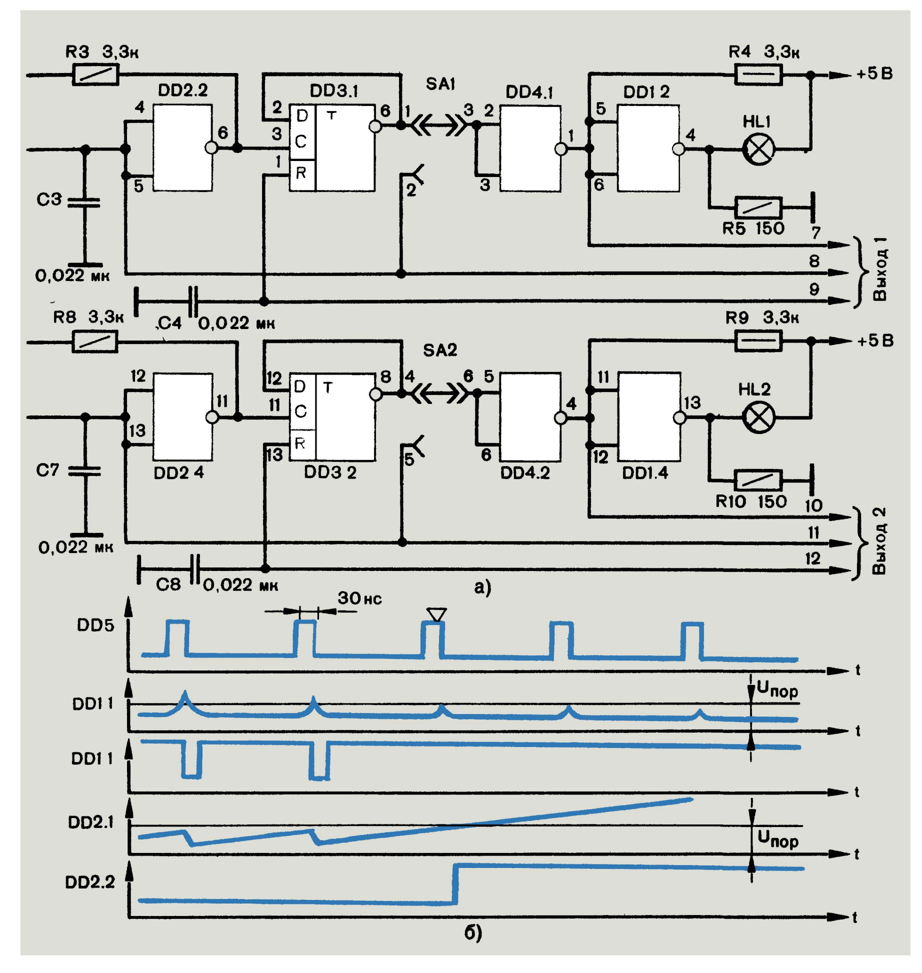
ды *8* и *12*, *4* и *6* переключателя *SA2*, то каналы одновременно включенными быть не могут.

К выходу *1* и выходу *2* каналов подключают исполнительные устройства (непосредственно или через согласующие элементы – например, блоки *1РК1*, *1РК2* и т. д. коммутационного устройства *КУ*), они в свою очередь, подключают выход *БУМ1* к той или иной нагрузке.

В качестве БУМ использована стойка тиристорных регуляторов и коммутации СТРК-3-12. В ее состав входят автотрансформатор АТ-36 с выходным напряжением 260 В и двенадцать регуляторов РТ-3-220. Стойка работает без каких-либо изменений.

13. Лазерные СМИ

Лазерные СМИ (или ЛСМИ) получили широкое распространение в последние годы и у нас в стране, и за рубежом [35, 45]. Фирма "Сименс" выпускает с 1970 г. сценические лазеры большой мощности.



сенсорного переключателя

Заранее хотелось бы оговорить, что во всех типах ЛСМИ конструктивное решение облегчается возможностью подводить луч к проекционному узлу практически из любой точки помещения с помощью ряда зеркал, закрепляемых на поворотных штативах. В дальнейшем упоминания об этих зеркалах в описании опущены.

Рассмотрим теперь, как действуют наиболее распространенные ЛСМИ, использующие способ просвечивания лазерным лучом оптически неоднородных сред (рис. 69). Отметим, что картины эти при всей привлекательности обычно очень капризны в управлении, трудно фиксируемы и чаще всего непредсказуемы, резко изменяются, не поддаваясь повторному воспроизведению. Прежде всего здесь идет речь об экспериментах с использованием в качестве просвечиваемых объектов (формообразователей) разного рода обломков стекла, хрусталя, двигаемых в поле луча рукой либо различными механическими устройствами (вращающимися платформами, кинематическими узлами поступательного движения). К сожалению, иногда конструкторы ограничиваются этими броскими эффектами, эксплуатируя доверие зрителя, очарованного магией слова "лазер" и необычностью самого лазерного луча. И цели, и результаты таких

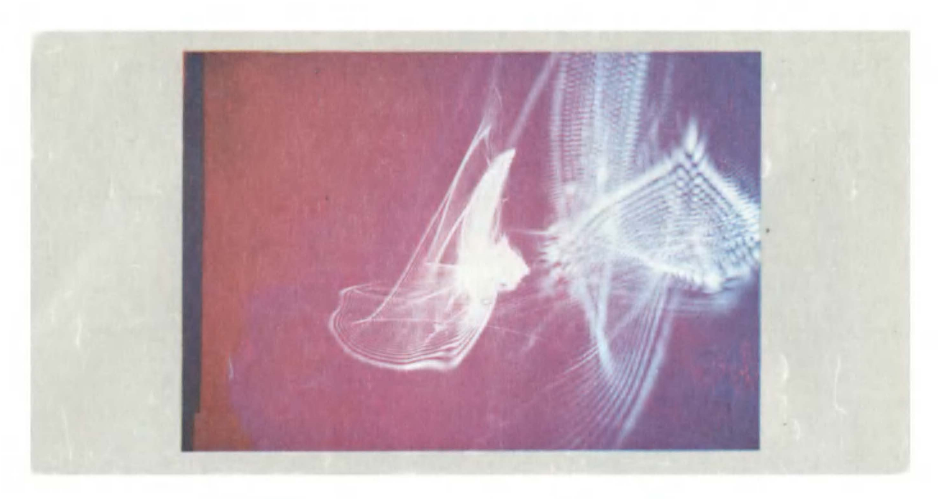


Рис. 69. Лазерные эксперименты в ЭСЭМ (г. Москва)

экспериментов в этом случае не выходят за рамки откровенного аттракциона. В подобном воплощении лазерные эффекты применимы скорее всего в дискотеках, разного рода коммерческих шоу и т. д. Но при разумном использовании этого приема, требующем трудолюбия и терпения, возможно создание формообразователей, обеспечивающих предсказуемость как самих фигур на экране, так и характера их движения. Так, чешский светохудожник И. Свобода сумел добиться в своих постановках впечатляющей картины, используя сценический лазер фирмы "Сименс" *BD*-71 (рис. 70). Многоцветные лучи аргонового и криптонового лазеров *E1* и *E2* проходят через модуляторы *U1*. . .*U3*, отражающие и полупрозрачные зеркала *З1*, *З2*, призму *П*, светофильтр *C* и попадают в микрообъективы, установленные в револьверных головках *MO1, MO2*. Эти микрообъективы в каждом комплекте отличаются разным углом расширения лазерного луча. Затем свет попадает на сдвоенные трафареты-формообразователи *ФО1* и *ФО2*, создавая в конечном итоге на экране динамику многокрасочной лазерной проек-

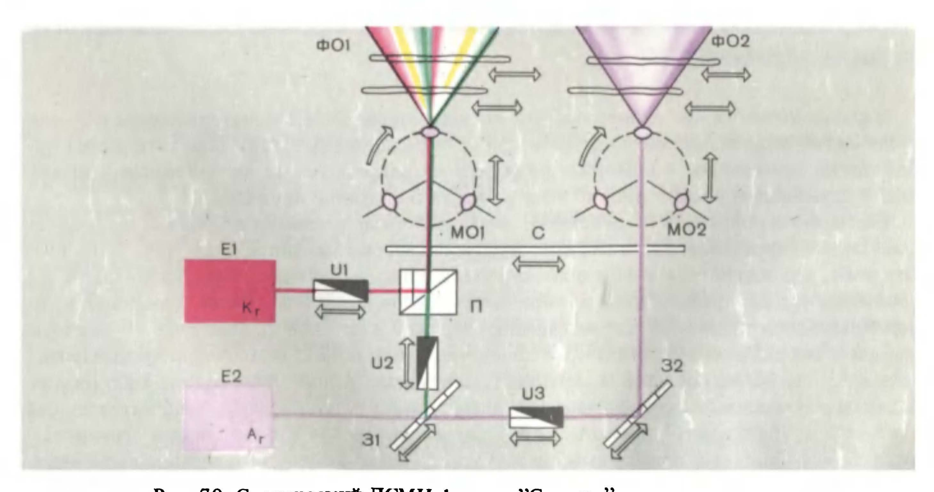


Рис. 70. Сценический ЛСМИ фирмы "Сименс"

ции. Ее структура зависит от типа сменных элементов формообразования и управления всеми остальными элементами.

Подобного рода ЛСМИ разрабатывают и советские изобретатели (Д. В. Михалевский, Ю. В. Спицын, М. Б. Шпизель и др.). Интересные эффекты получают в ужгородской студии светомузыки, пропуская луч через сложные дифракционные решетки. Рассмотрим подробнее один из наиболее удачных проектов (конструктор С. М. Зорин). В нем (рис. 71) творчески развита идея, заложенная в предыдущем ЛСМИ.

Лучи света от трех лазеров с помощью одного зеркала с поверхностным напылением *З1* и двух дихроичных зеркал *З2* и *З3* сводятся в один пучок (на самом деле они идут параллельно на минимальном расстоянии, что в данной конструкции даже предпочтительнее, чем полное их слияние). Суммарный трехцветный пучок лазерных лучей направляется в формообразующее устройство, представляющее собой подвижную вертикальную раму *Р*, перемещающуюся на роликах на подвижном горизонтальном основании с помощью реверсивного электродвигателя *М3* и червячной передачи. Управляющие сигналы поступают на этот электродвигатель с дистанционного пульта управления и заставляют раму перемещаться возвратно-поступательно в горизонтальной плоскости по желанию оператора-светохудожника. В раме *Р* имеются два отверстия, сквозь которые в сторону экрана проходят два луча, сформированные полупрозрачным зеркалом *З4* и зеркалом *З5*. Оба эти зеркала имеют возможность поворачиваться с помощью электродвигателей *М1* и *М2*.

В отверстиях рамы посредством бесцентрового крепления в кольцеобразных держателях установлены формообразующие диски *ФО1* и *ФО2*, изготовленные из листового органического стекла толщиной 0,5–1 мм. Кольцевые держатели с этими дисками могут вращаться от сельсинов *С1* и *С2* через промежуточные обрезиненные ролики. На формообразующие диски наносят либо неоднородный слой прозрачного материала толщиной 1–2 мм, либо спиральную рельефную дорожку, как на грампластинке, только с бóльшими перепадами глубины.

Червячная пара, передающая движение от электродвигателя *М3*, подобрана таким образом, чтобы перемещать раму вместе с формообразователями на один шаг спиральной дорожки за один оборот дисков.

С помощью поляроидных дисков *П1–П3*, эксцентрически закрепленных на своих электроприводах (на рисунке не показанных), можно менять яркость луча каждого из трех лазеров. Это позволяет гибко регулировать колорит общей многоцветной кар-

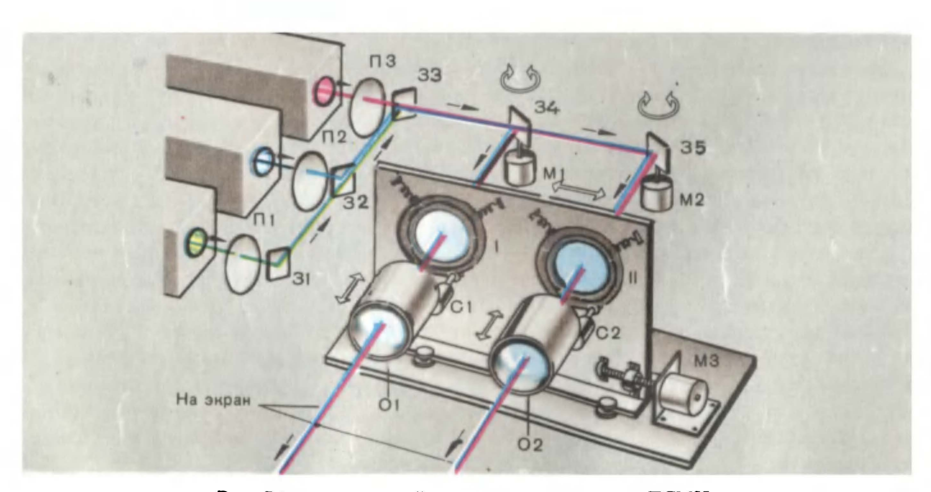


Рис. 71. Принцип действия многоцветного ЛСМИ

тины на экране. Диски приводят в движение двумя парами сельсинов. Сельсины-датчики устанавливают на пульте управления. Сельсинный привод позволяет не только вращать диски, но и покачивать их на любой угол – от широкой раскачки до дрожания в пределах менее одного градуса. Управляя электродвигателем дистанционно, можно или заставить луч двигаться по спирали, или пустить луч поперек ее витков.

Если торцы полупрозрачного зеркала *34* покрасить черной краской, а само зеркало вращать вокруг вертикальной оси, то от канала *1* получится на экране мерцающая картина, напоминающая отражение в неспокойной воде или игру пламени, а во втором канале – та же картина, что и при неподвижном зеркале, но только линии на экране будут не сплошные, а прерывистые, причем частота штрихов будет зависеть от частоты вращения зеркала.

Можно также управлять размером (масштабом) изображения независимо в каждом канале, для чего объективы *O1* и *O2* с помощью реверсивных электроприводов (на рисунке также не показаны) перемещают вдоль оптической оси; в простейшем случае объективом может служить одиночная линза, которую можно не только перемещать вдоль оси, но и поворачивать ее плоскость, что приводит к дополнительным преобразованиям изображения.

Умелая вариация всех перечисленных параметров позволяет получать "текучие", подвижные, танцующие многокрасочные проекции, состоящие из тончайших линий, сплетенных в ажурные объемные структуры (рис. 72).

Иного характера изображения (лазерная графика) получаются в ЛСМИ с механической разверткой луча. По сути дела, эти устройства представляют собой осциллографы с большим экраном, и изображение строится по принципу формирования известных в радиотехнике фигур Лиссажу, всегда привлекающих своей причудливой формой и самих инженеров. Только в ЛСМИ светохудожник сознательно формирует и выбирает те фигуры, которые наиболее соответствуют светомузыкальному сценарию (партитуре).

СМИ лазерно-графической проекции отличаются от описанных ранее не только структурой изображения (сравни рис. 69 и 73), но и способностью к повторению, и предсказуемостью образов.

Простейший эффект осциллографической развертки может быть достигнут с помощью следующего устройства (рис. 74). Небольшое круглое зеркало закрепляют на оси электродвигателя под небольшим углом α. В зависимости от α изменяется телесный угол β, определяющий размер получающейся на экране окружности. Этот отраженный луч может быть направлен на вторую такую же систему, и на экране получится уже кольцо с петлями (круговая циклоида) [42].

Более сложные узоры получатся, если в качестве развертывающих устройств использовать магнитную систему с катушкой динамической головки прямого излучения (рис. 75). К центру диффузора головки приклеивают легкое удлиненное зеркало. Под зеркалом помещают брусок из пенопласта. Другой конец зеркала приклеивают к краю диффузора. Клей должен быть эластичным, например Н88. Луч от зеркала первой головки попадает на зеркало второй. Результирующей проекцией фигур Лиссажу управляют так же, как и в осциллографе – изменением частоты звуковых генераторов, питающих головки, амплитуды, модуляцией по яркости и т.д. Импульсную модуляцию луча по яркости создают либо механическим прерывателем (вращающейся на пути луча крестовиной), либо стандартным электронно-оптическим модулятором, работающим по принципу светового клапана (они безынерционны и могут модулировать луч сигналами разной формы). При этом фигуры Лиссажу превращаются в точечное кружево. Необходимость обращаться к модуляторам отпадает при использовании импульсных лазеров с перестраиваемой частотой импульсов. Естественно, любой реальный ЛСМИ должен содержать несколько таких лазерных проекторов с лучами разного цвета.



Рис. 72. Лазерные эксперименты С. М. Зорина

Рассмотрим подробнее ЛСМИ с осциллографической разверткой, разработанный в СКБ "Прометей" (конструкторы А. Е. Шумилов, А. И. Нефедов). Были созданы два варианта малогабаритных развертывающих устройств. В первом из них зеркало колеблется в двух измерениях, его приклеивают к круглой площадке с перпендикулярным к ней стержнем, выточенным из магнитомягкого материала. Стержень помещают между наконечниками двух пар катушек электромагнитов, на обмотку которых подают сигналы с X и Y генераторов. Обычные звуковые генераторы неудобны тем, что их перестройка связана с прохождением через промежуточные частоты. При этом картина сбивается и фигуры Лиссажу разрушаются. Поэтому в ЛСМИ предусмотрен дискретный набор значений частоты с небольшой их расстройкой, обеспечивающей биения (т. е. вращение или пульсации фигур Лиссажу).

Функциональная схема пульта управления ЛСМИ представлена на рис. 76. Лазерные световые композиции с помощью этого пульта формируются следующим образом.



Рис. 73. Эпизод действия "Лазериума" (И. Драйер, США)

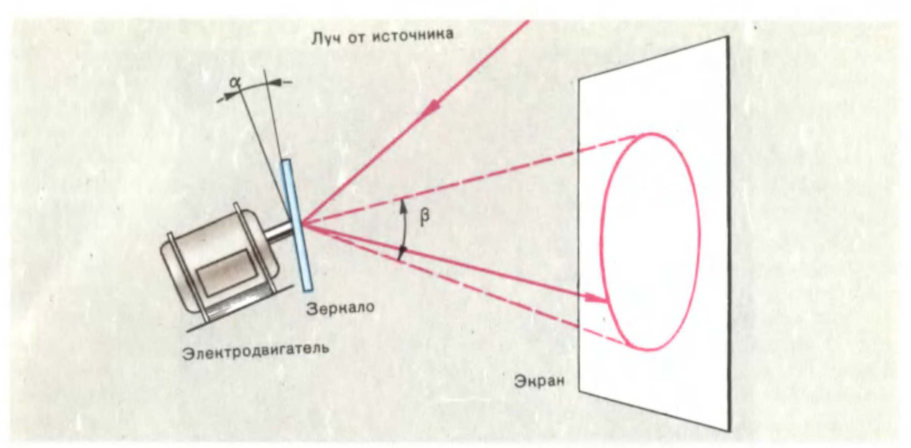


Рис. 74. Развертка луча по окружности

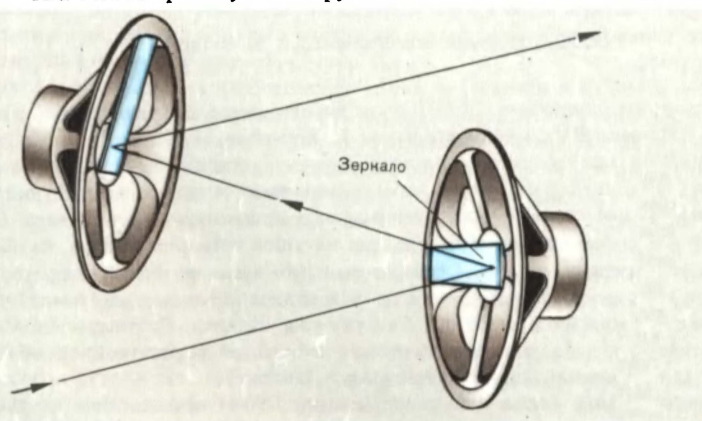


Рис. 75. Развертывающее устройство – механический осциллограф

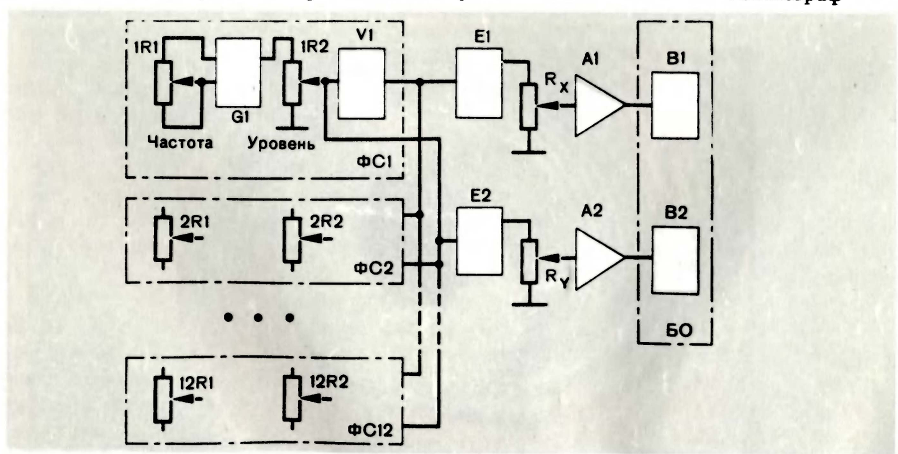


Рис. 76. Функциональная схема пульта управления ЛСМИ

Пульт состоит из 12 идентичных формирователей сигналов (ФС), соответствующих 12 фигурам, каждый из которых содержит генератор синусоидальных сигналов (*G1*), фазовращателя (*V1*), а также двух регуляторов: частоты (*1R1*) и уровня (*1R2*) сигнала. Таким образом на выходе каждого формирователя образуются два сигнала, сдвинутых по фазе на 90°. Все эти сигналы поступают затем на два независимых сумматора *E1* и *E2*, в результате чего образуются два канала развертки луча по *X* и *Y* координатам. На выходе каждого сумматора имеется регулятор масштаба изображения (R_X и R_Y), и после усиления по мощности (*A1* и *A2*) сигналы поступают на устройства *B1* и *B2* блока отклонения (БО).

Генераторы в формирователях настроены на следующие частоты: 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 1000, 1050, 1100 и 1200 Гц. При верхнем положении регулятора уровня, например *1R2*, сигнал генератора заставит луч описывать на экране окружность. При добавлении к этому сигналу других, более высокочастотных, конфигурация окружности будет усложняться.

При одновременном введении регулятора *1R2* и любого из регуляторов *2R2–8R2* на экране получаются плоские фигуры, а псевдообъемные фигуры – при введении *2R2 – 8R2* и любого из регуляторов *9R2 – 12R2*. Переменой отношения напряжений сигналов регуляторами *1R2 – 12R2* можно изменять параметры фигур. Если сигналы с регуляторов *1R2 – 8R2* и *9R2 – 12R2* включать не по одному, а группами, то число фигур увеличивается. Изменяя в небольших пределах частоту генератора *G1* резистором *1R1*, фигуры можно заставить вращаться в нужном направлении с желаемой скоростью [43].

Эксперименты показали, что самодельные малогабаритные развертывающие устройства плохо работают на относительно высоких частотах, и вблизи частоты собственного резонанса происходит нежелательная деформация результирующей картины. Поэтому в качестве развертывающих устройств рекомендуется использовать в комплекте с этой схемой механический осциллограф, подобный показанному на рис. 75. Но и здесь амплитуда колебания на высоких частотах недостаточна, что необходимо компенсировать усилением мощности в каналах.

14. СМИ с установками "пространственной музыки"

Обратив внимание на широкую практику применения эффекта "движущегося звука" на сцене драматического театра, авторы книги выступили в свое время с предложением более гибкого и активного использования этой новой "степени свободы" звукового материала при воспроизведении музыки электроакустическим способом.

В понимании авторов "пространственная музыка" предполагает возможность свободного и плавного перемещения звуков определенных инструментов по любым траекториям в плоскости или объеме экрана согласно законам уже собственно музыкальной драматургии (с повторением, подчеркиванием мелодической кривой, визуализацией тематического развития, с которым инструментовка тесно связана). Разумеется, восприятие этих траекторий будет не таким четким, как для зрения, с заведомо худшей разрешающей способностью, но при полном охвате "поля слуха" источниками звука определенный эффект достигается. Обычно "пространственная музыка" всегда сочетается со светомузыкой, усиливая ее действие.

Исходя из данного понимания целей и возможностей "пространственной музыки" и была сконструирована многоканальная аппаратура, позволяющая непосредственно самому музыканту управлять с помощью пульта свободным перемещением звука в любом помещении. Принцип действия установки объясняется на рис. 77.

Сигналы 1,2 . . ., *n* со звуковоспроизводящего устройства (ЗВУ) *B1* распределяются по соответствующим независимым пультам управления *S1 – Sn*. Каждый пульт содержит *i* приемников света *П* и перемещаемый над ними излучатель света *И*. Под действием света приемники формируют на выходах 1. . .*i* переменные сигналы, подаваемые на вход усилителей *A1 – Ai*.

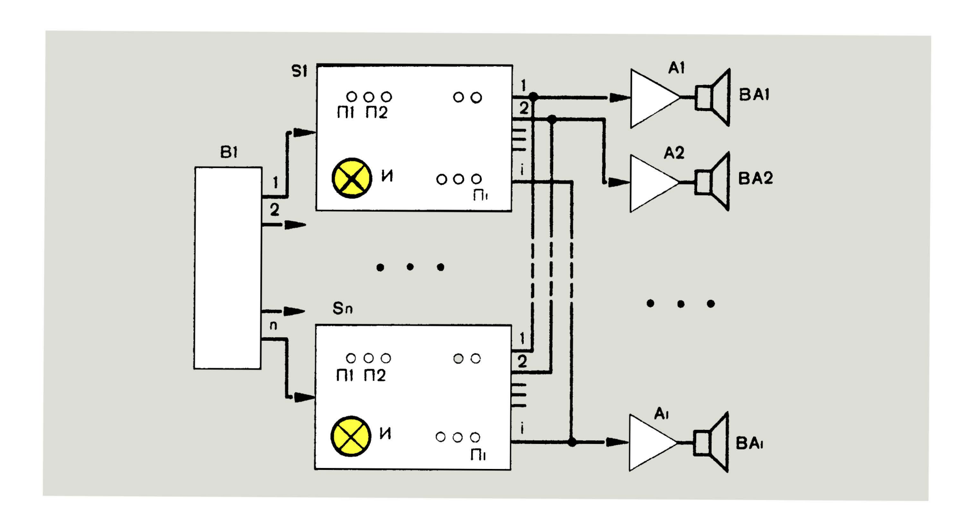


Рис. 77. Обобщенная структурная схема установки "пространственной музыки"

Звуковые сигналы после усиления воспроизводятся через соответствующие громкоговорители *BA1* – *BAi*, расположенные в зале. В зависимости от того, в какой последовательности управители будут воздействовать на датчики в пультах, соответственно перемещается и звук от одного громкоговорителя к другому. Громкоговорители в зале размещают на стенах, полу и потолке таким образом, чтобы при переходе звучания от одного громкоговорителя к соседнему не возникало ощущения провала звука по громкости. Для удобства управления светоприемники *П* в пультах располагают в таком же порядке, как и громкоговорители в зале.

Возможны другие варианты пультовых устройств, позволяющих управлять перемещением звука по произвольным траекториям, – с помощью механических переключателей, панорамных регуляторов, электроакустических преобразователей, индуктивных и емкостных датчиков и т.д. В первых наших экспериментах был проверен вариант электроакустического преобразования. Французские инженеры испытали в свое время четырехканальную установку на индукционных датчиках. Пульт содержал набор катушек, а оператор водил по пульту обычным магнитом. На выставке ЭКСПО-70 использовались сенсорные датчики, а сам пульт был выполнен в виде шара, соответствующего сферической конструкции зала.

Рассмотрим подробнее проверенный нами на практике вариант решения пульта, в котором использовано световое управление перемещением звука и его громкостью (на рис. 78 – внизу). Таких пультов в установке – два (т.е. согласно рис. 77, $n = 2$). На пульте установлены фоторезисторы, включенные в цепь управления регулируемыми усилителями звукового сигнала. В руках оператора находится фонарь, который формирует световое пятно с уменьшающейся к краям яркостью. В зависимости от уровня освещенности фоторезистора изменяется и громкость звучания в громкоговорителе соответствующего канала. Размер светового пятна и расположение фоторезисторов на пульте выбраны таким образом, что одновременно может засвечиваться не более двух фоторезисторов.

Усилители мощности, как это видно на рис. 78, скомпонованы в отдельные стойки, причем в каждой стойке находятся 12 двухканальных усилителей мощности и блок регулируемых усилителей-коммутаторов. Усилители мощности стандартные, "Электроника Б1-01". Они включены так, что их стереоканалы полностью независимы и рабо-

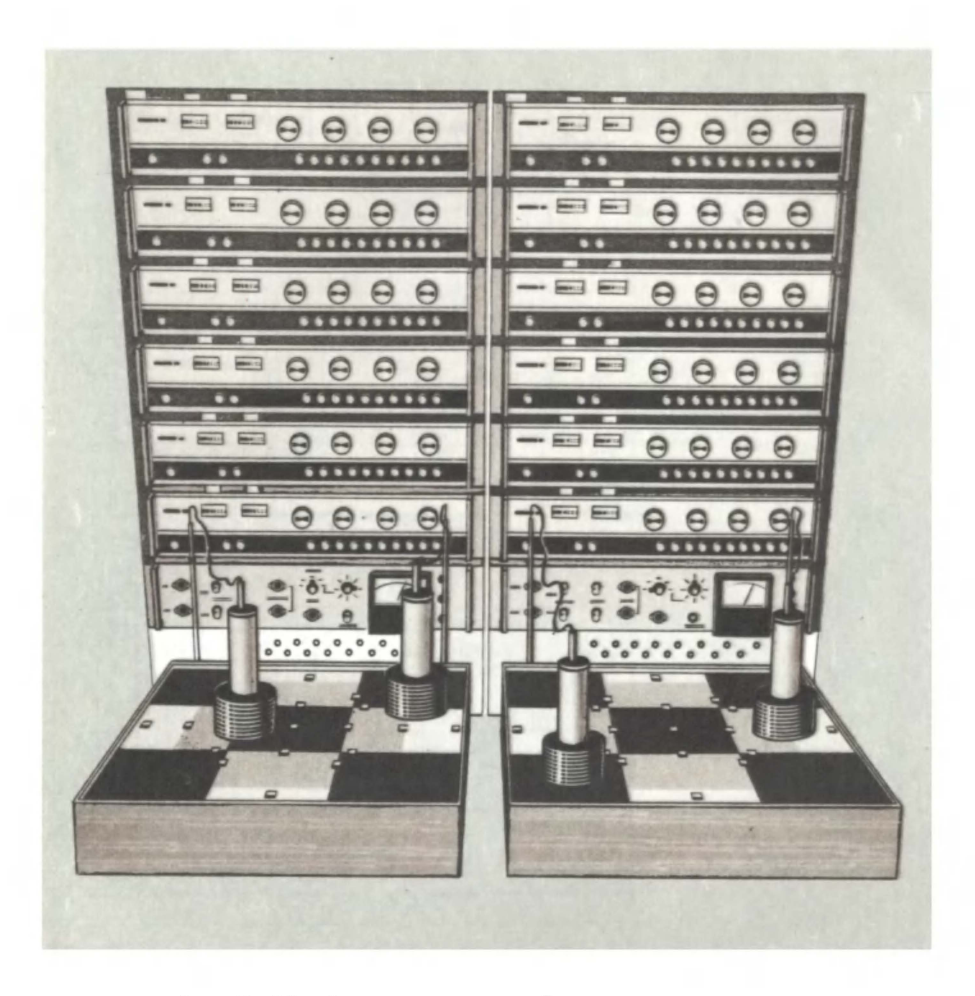


Рис. 78. Общий вид электронного блока; на переднем плане – два автономных световых микшера с управляющими фонарями

тают от своих входных сигналов. Пульт управления – автономный и соединен с усилителями-коммутаторами жгутами.

Принципиальная схема одного канала управления этой установки приведена на рис. 79. Если амплитуда входного сигнала не меньше 0,1 В, то сигнал через предварительный усилитель УПП-1 и усилитель мощности поступает на входы регулируемых усилителей. Если же амплитуда мала (у микрофонных сигналов несколько милливольт), подключается дополнительный микрофонный усилитель УПМ-1. Необходимый уровень входного сигнала в обоих случаях устанавливают резистором *R1*.

Каждый усилитель собран на микросхеме *DA1* и транзисторе *VT2* и содержит регулируемый делитель напряжения на входе. Регулирующим элементом этого делителя является транзисторная сборка *DA2*, содержащая четыре независимых МОП транзистора. Делителем напряжения на резисторах *R9*, *R10* устанавливается на затворах отрицательное по отношению к истоку напряжение, при котором все транзисторы сборки откры-

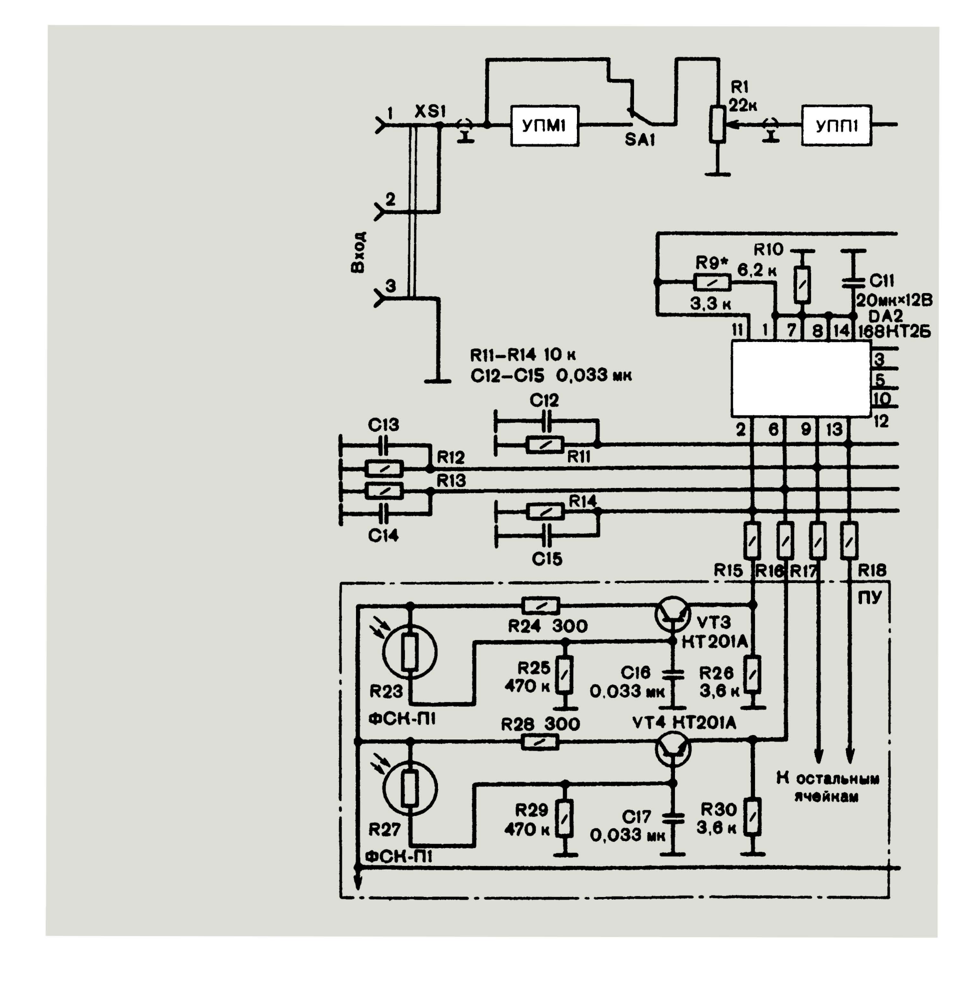
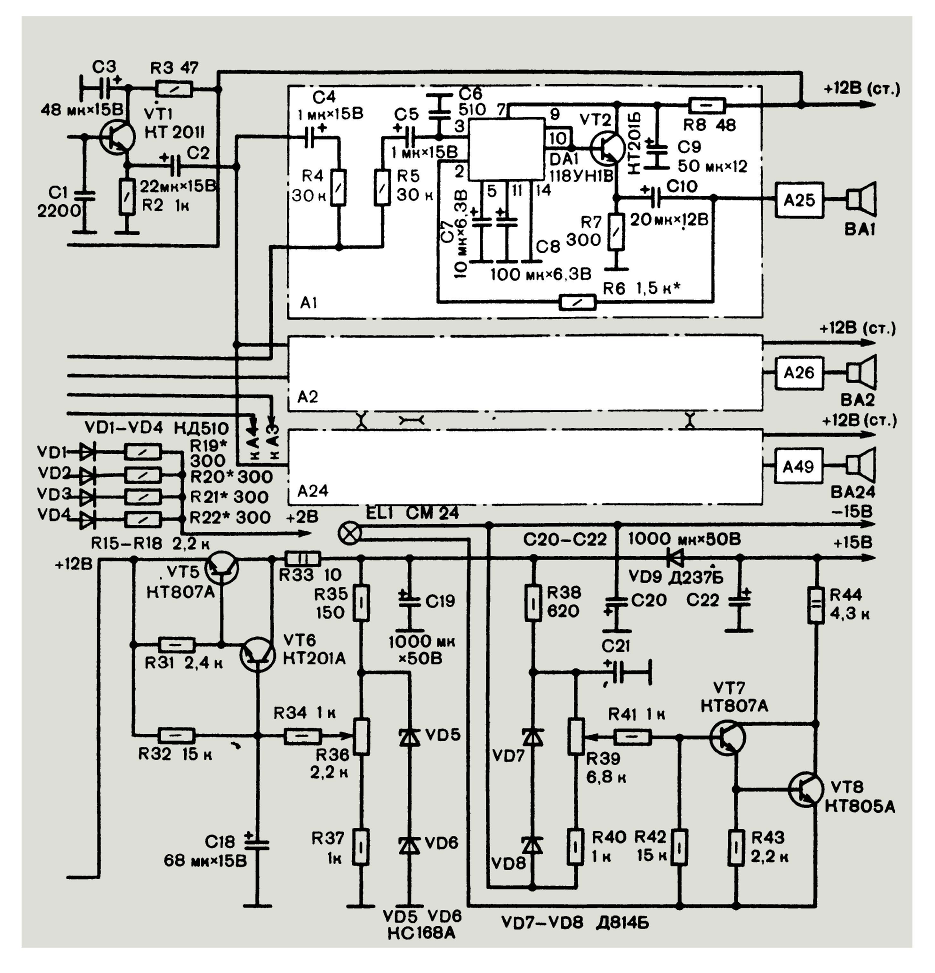


Рис. 79. Принципиальная схема

ты и замыкают на общий провод входной сигнал каждого усилителя, поэтому звука в громкоговорителях нет.

Если же на затвор МОП транзисторов подать увеличивающееся положительное управляющее напряжение, они начнут закрываться, ослабляя шунтирующее действие, и на выходе каналов появится звук и будет увеличиваться его громкость. Однако высокая и почти линейная крутизна характеристики МОП транзисторов затрудняет их управление аналоговыми сигналами. Для устранения этого недостатка и расширения диапазона регулирования на входе каждого транзистора включена логарифмирующая цепь из резистора и диода (в первом канале *R22*, *VD4*).

Управляющее напряжение формируется в ячейках ПУ при освещении фоторезистора (в первом канале *R23*) и в зависимости от уровня освещенности меняется в пределах от 0 до 5 В. Кроме того в ПУ размещены два стабилизатора напряжения для питания этих формирователей и лампы *EL1* управляющего фонаря. Первый стабилизатор собран на транзисторах *VT5*, *VT6*, второй – на транзисторах *VT7*, *VT8*. Стабилизирован-



канала управления движением звука

ное напряжение питания лампы *EL1* можно плавно регулировать в пределах от 3 до 13 В, подбирая рабочий уровень освещенности фоторезисторов на пульте.

Для удобства управления целесообразно выделить в ПУ, например, цветом зоны, соответствующие полу, стенам и потолку, где расположены громкоговорители. Необходимым также является дублирование фоторезисторов и распределение их в ПУ таким образом, чтобы при любых траекториях светового пятна в громкоговорителях не было пропадания звука.

При налаживании установки следует один раз установить уровень громкости усилителей мощности и зафиксировать положение регуляторов, а в дальнейшем изменять громкость звучания общим регулятором *R1*. Использование транзисторной сборки значительно облегчает процесс налаживания, поскольку все четыре транзистора имеют одинаковые параметры. Можно, конечно, использовать и отдельные транзисторы и подбирать тщательно их режим. Выбор входных усилителей может быть произвольным, необходимо лишь, чтобы напряжение сигнала на базе транзистора *VT1* было не менее 0,3 В.

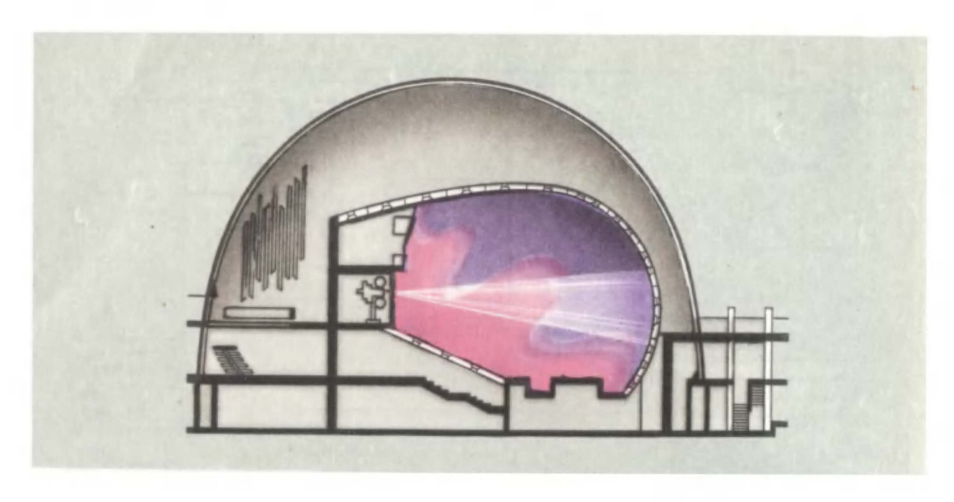


Рис. 80. Проект зала светомузыки Татарской филармонии

Выбор числа каналов звуковоспроизведения и размещение громкоговорителей при проектировании установок "пространственной музыки" определяются тем, что разрешающая способность слуха в различных направлениях неодинакова, и громкоговорители следует распределять по залу неравномерно. Углы между соседними громкоговорителями выбирают примерно равными 15° для фронтальных с постепенным нарастанием угла для боковых и тыльных. В задней части зала достаточно одного-двух источников звука. Так размещены громкоговорители в зале светомузыки Казанского молодежного центра, имеющем объем около 300 м³. В этом зале работает 24-канальная установка "пространственной музыки". Громкоговорители "Минимакс", мощностью 20 Вт (производства ВНР) расположены на всех стенах, потолке и на полу зала (см. рис. 56). Опыт эксплуатации установки показывает, что большое число каналов эффективно проявляет себя лишь в залах большего объема с хорошим акустическим глушением, а для небольших залов достаточно 12- или 8-канальных акустических систем.

Наиболее благоприятные условия для восприятия пространственного движения звука будут, вероятно, в специальных залах сферической или эллипсоидной формы (рис. 80, архитектор М. Х. Агишев).

В заключение следует отметить, что оптический микшер является наиболее удобным не только из-за наглядности управления. При работе с ним возможно использование в качестве устройства памяти кино- или видеозаписи (съемка движения управляющего светового пятна с последующим его контактным проецированием на поле фоторезисторов пульта).

15. СМИ со сложными пультами и запоминающими устройствами

В качестве примеров СМИ, где конструкторы обратили основное внимание входной части, рассмотрим две установки, которые совмещены с известными ВОУ транспарантной проекции, но отнюдь не исключена возможность их использования и со многими другими ВОУ и даже с установками пространственной музыки.

Серия многоканальных информационных светодинамических систем (МИСС) полтавских инженеров работает с комплектом светопроекторов от СМИ "Харьков", все остальные функции, в том числе и оператора, выполняет электронный блок. Один из

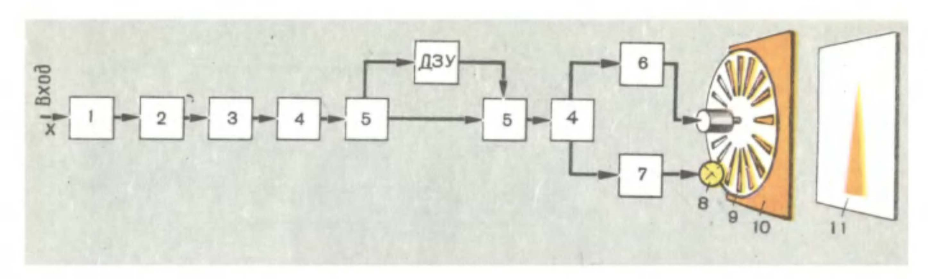


Рис. 81. Структурная схема канала управления СМИ МИСС-2

Рис. 82. Общий вид инструмента МИСС-3

вариантов – МИСС-2 (конструкторы В. В. Скакун, Л. А. Гончаров) – функционирует в зале эстетотерапии санатория "Ерино" (см. рис. 43).

Блок памяти этого СМИ выполнен в виде приставки к магнитофону "Ростов-101", используемому как долговременное запоминающее устройство. При исполнении светокомпозиций с помощью рукояток управления на вторую дорожку магнитной ленты записывают сигналы управления яркостью ламп и работой электродвигателей. Число каналов управления – 6–15, световых проекторов – 31–62. В системе применен цифровой метод записи, что определило структуру блока управления СМИ (рис. 81), где *X* – входное воздействие оператора-исполнителя; *1* – преобразователь входного сигнала; *2* – наборное поле (коммутация проекторов по каналам); *3* – дискретный построитель (преобразователь кода, компенсатор нелинейности); *4* – буферное оперативное запоминающее устройство; *5* – сдвиговый регистр; *6* – долговременное запоминающее устройство; *7* – исполнительный электродвигатель; *8* – источник света;

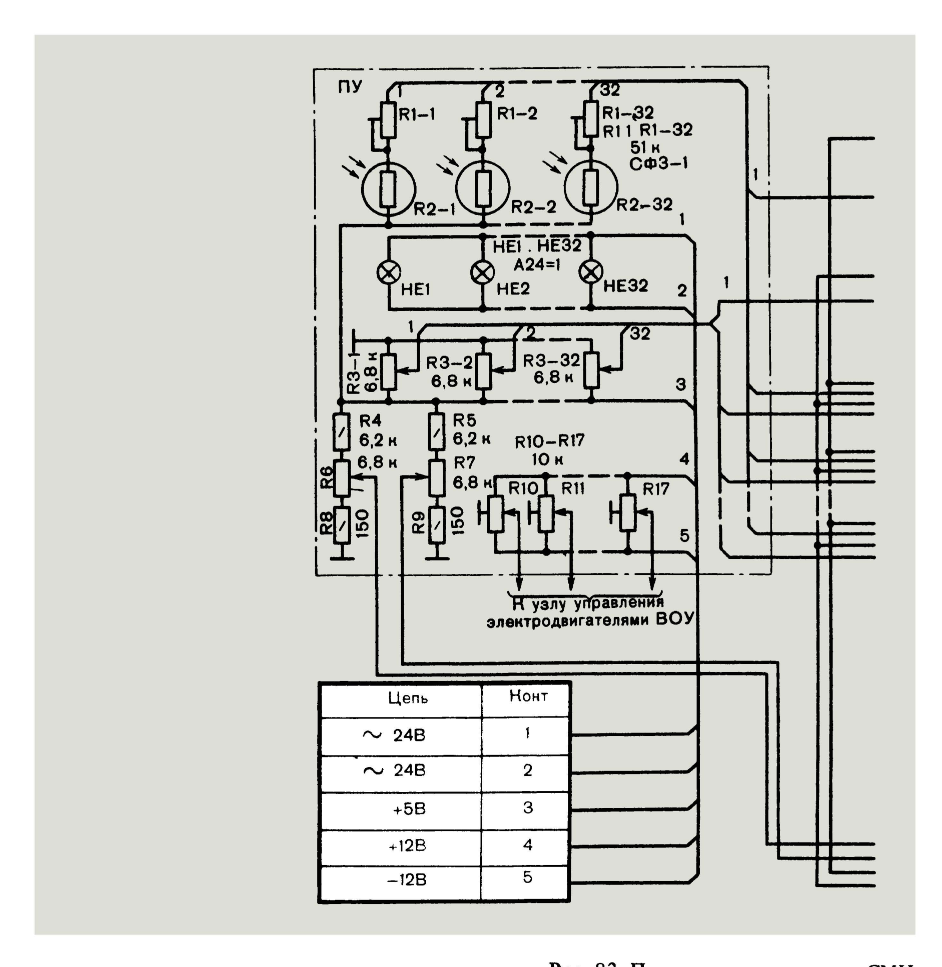
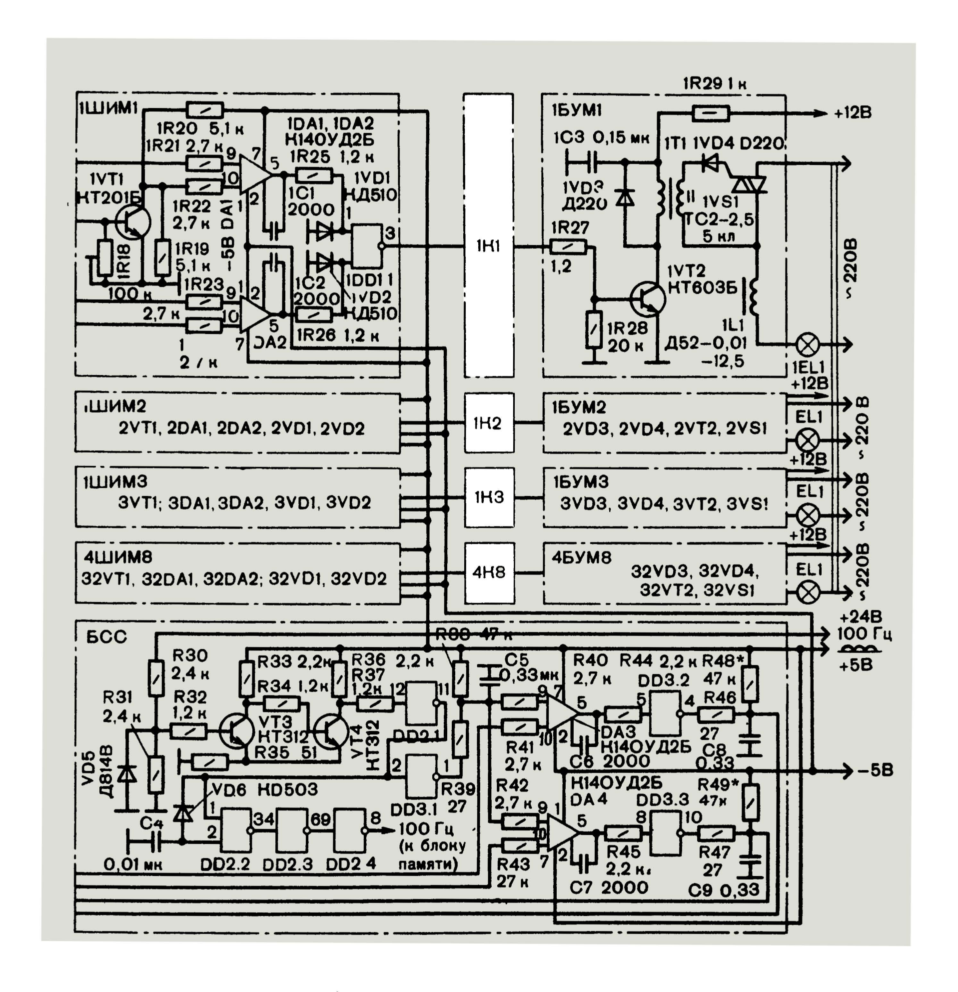


Рис. 83. Принципиальная схема СМИ

9 – подвижный трафарет и светофильтр; *10* – неподвижный трафарет и светофильтр; *11* – экран (отражающий или просветный).

В СМИ применены тиристорные БУМ. Яркостью управляют изменением фазы включения тиристора относительно начала полупериода питающего напряжения. Качественная регулировка яркости при воспроизведении записи обеспечивается доведением числа дискретных уровней до 128. Способ управления скоростью электродвигателя – широтно-импульсный, дифференциальный.

При рабсте МИСС-2 в режимах ручного управления и записи светодинамической композиции яркостью управляют поворотом шести рукояток (подобно СМИ "Харьков"). Угол поворота ручек ±45°. Предварительное подключение ламп накаливания к каналам управления и задание частоты вращения барабанов в ВОУ выполняют посредством наборного поля, расположенного на верхней панели ПУ. Во время исполнения светодинамической композиции проекторы подключают с помощью 24-х переключателей, сгруппированных по четыре над каждой ручкой управления, а также четырьмя педалями, дублирующими четыре из 24-х основных переключателей. Требуемый режим



"Мираж" (без системы записи)

работы выбирают клавишным переключателем, расположенным в центре ПУ. Выбранный режим отображается на световом табло.

В настоящее время разработан и готов к применению более совершенный инструмент МИСС-3 (рис. 82), имеющий меньшие габариты.

Аналогичные работы по созданию сложных ПУ с системой записи ведет и творческая группа в Одессе, возглавляемая М. Р. Боднером. Ею разработана серия СМИ "Мираж". "Мираж-008" содержит 32 канала управления мощностью по 3 кВт каждый. СМИ допускает подключение разнотипных взаимозаменяемых пультов, посредством которых светомузыкант управляет яркостью, цветностью и динамикой световой партии.

Рассмотрим, к примеру, схему двухпрограммного пульта со светотеневой клавиатурой (рис. 83). В нем размещены 32 фоторезистора (*R2-1 – R2-32*). Включенные последовательно с ними подстроечные резисторы *R1-1 – R1-32* компенсируют разброс параметров фоторезисторов, *EL1 – EL32* – лампы подсветки, *R3-1 – R3-32*-регуляторы ручного управления светодинамикой. Подобно театральным светорегуляторам в пульт заложена возможность предварительного набора источников света в две автономные

группы. Эти группы включаются и независимо друг от друга регулируются двумя переменными резисторами *R6* и *R7* (первая и вторая программы управления светом). Резисторами *R10 – R17* управляют частотой вращения и реверсом электродвигателей ячеек ВОУ.

Изменяющееся от 0 до 2,5 В напряжение с ПУ поступает на широтно-импульсный модулятор (ШИМ), где сравнивается с пилообразным напряжением 2,5 В. Узел ШИМ состоит из четырех модулей по восемь каналов в каждом (на рис. 66 изображен канал первого модуля). На инвертирующий вход компаратора *DA1* подается пилообразное напряжение с блока синхронизирующих сигналов (БСС), которое изменяется по амплитуде резистором *R6* (управление первой программой). На неинвертирующий вход этого компаратора поступает усиленное транзистором *VT1* напряжение, сформированное делителем, состоящим из фоторезистора *R2-1*, резистора *R1-1* (они расположены в пульте) и резистора *R18*. Как только напряжение на инвертирующем входе превысит напряжение на входе неинвертирующем, на выходе ОУ сформируется сигнал с высоким уровнем, который инвертирует логический элемент *DD1.1*.

На компараторе *DA2* происходит сравнение напряжения с регулятора *R3-1*, расположенного в пульте управления, и пилообразного напряжения с *БСС*, регулируемого по амплитуде резистором *R7* (управление второй программой). С выхода ОУ *DA2* сигнал поступает на второй вход элемента *DD1.1*, который логически суммирует сигналы с выходов компараторов. Поэтому первая и вторая программа могут воспроизводиться раздельно, а могут и взаимно дополнять друг друга.

С выхода элемента *DD1.1* сигнал поступает на коммутатор. С помощью коммутатора подключают к выходу ШИМ усилители мощности блока симисторов. При наличии блока памяти коммутатор переключает вход усилителя мощности к выходу этого блока (блок памяти на схеме не показан). В исходном состоянии транзистор *VT2* закрыт и конденсатор *C3* заряжается через резистор *R29* от источника питания. В момент прихода импульса от коммутатора транзистор *VT2* открывается и через первичную обмотку импульсного трансформатора *T1* конденсатор *C3* быстро разряжается. Во вторичной обмотке появляется импульс напряжения, приводящий к открыванию симистора *VS1*. Дроссель *L1*, включенный последовательно с нагрузкой, необходим для сглаживания помех, создаваемых во время работы симистора.

Синхронизацию работы всех узлов и блоков СМИ с частотой сети обеспечивает блок *БСС*. Положительное пульсирующее напряжение 24 В частотой 100 Гц ограничивает стабилитрон *VD5*, оно поступает на вход триггера Шмитта, собранного на транзисторах *VT3*, *VT4*. В момент перехода напряжения сети через нуль на коллекторе транзистора *VT4* формируется импульс длительности 0,5 мс. С выхода инвертора *DD2.1* импульс поступает на вход инвертора *DD3.1* с открытым коллектором, который входит в генератор линейно нарастающего напряжения. Конденсатор *C5* в течение 9,5 мс заряжается, а затем быстро разряжается через инвертор *DD3.1* и токоограничивающий резистор *R39*.

Проинвертированный импульс поступает также на схему задержки, образованную элементами *DD2.2*, *DD2.3*, диодом *VD6* и конденсатором *C4*. На выходе элемента *DD2.4* получаются импульсы положительной полярности длительностью 150 мкс, частотой 100 Гц, синхронные с частотой сети, которые поступают в блок памяти.

Пилообразное напряжение в *БСС* для управления первой программой формируется компаратором *DA3* и инвертором *DD3.2*. Начало нарастающей части этого пилообразного напряжения регулируют переменным резистором *R6* (управление первой программой), окончание ее происходит в момент перехода синусоиды сети через нуль. При нижнем по схеме положении движка этого резистора на неинвертирующий вход подается напряжение около 0,1 В, а на инвертирующий вход пилообразное напряжение 2,5 В. На выходе компаратора *DA3* будет высокий уровень, приложенный к входу инвертора *DD3.2*. Поэтому конденсатор *C8* остается практически незаряженным.

Когда движок резистора *R6* находится в крайнем верхнем положении, высокий уровень на выходе компаратора *DA3* возникает только в самом конце периода, поэто-

му конденсатор *C8* заряжается и на нем образуется пилообразное напряжение, которое подается на модули *ШИМ1* – на инвертирующий вход ОУ *DA1*. Точно так же построена схема управления второй программой (ОУ *DA4*, инвертор *DD3.3*, переменный резистор *R7*). Пилообразное напряжение подается на инвертирующий вход ОУ *DA2* в модуле *ШИМ1*.

Здесь мы не рассматриваем принципиальную схему управления частотой вращения и реверсом электродвигателя, так как она была уже описана раньше (см. рис. 50). Не станем останавливаться на схеме системы памяти – она опубликована конструкторами в описании их цветового синтезатора [18].

16. СМИ для кино и телевидения

В последние годы начала широко развиваться практика использования светомузыкальных эффектов в кино и на телевидении. Вместе с тем сама техника кино и телевидения позволяет создавать оригинальные светомузыкальные композиции. Так, с помощью кинотехники в 1965 г. был снят первый в стране светомузыкальный фильм "Прометей" (музыка А. Н. Скрябина), а в 1983 г. в Ленинграде была осуществлена телевизионная постановка этого произведения. Рассмотрим вначале технику светомузыкального фильма. Казалось бы, самый простой способ – снять с экрана СМИ готовую светокомпозицию синхронно с записью музыки. Но, во-первых, на киноэкране эта композиция смотрится совсем иначе из-за привычности людей к чудесам киноэкрана, потерь в нюансах цветовой динамики, мерцания киноэкрана, его ограниченной яркости, а главное из-за потери эффекта присутствия, обычно сопутствующего акту исполнительского творчества на светоконцертах. И если уж обращаться к технике кино, то следует максимально использовать ее специфические возможности. Не удивительно, что тот же световой замысел "Прометея" А. Н. Скрябина решается в условиях киноэкранного воплощения совсем иначе, чем на экране СМИ.

Техника кино позволяет получать изображение большей сложности, если снимать светомузыкальный фильм по эпизодам, причем с многократными экспозициями, с использованием специальных методов съемки, обработки пленки и печати. Затем фрагменты монтируют в единую ленту и совмещают с музыкой [40].

В общем виде схема комплекса аппаратуры для съемки светомузыкального фильма показана на рис. 84. С помощью отражателя *1*, лампы *2*, формообразующих элементов *3*, светофильтра *4* на экране *5* создаются необходимые световые эффекты. Съемочная камера *7* может снимать изображение непосредственно с экрана или через дополнительную деформирующую оптику *6*. Световые эффекты воспроизводят под музыку вручную, согласно сценарию и режиссерскому плану.

Необходимое движение световых образов обеспечивают перемещением элементов *1* – *4* и *6*. Элемент *3* – это трафарет любого типа (плоский, объемный, жидкостный). В качестве экрана съемочной модели можно также использовать осциллограф, на входы которого (X, Y, Z) подают сигналы от управляющих генераторов.

Деформирующая оптика *6* – медленно колеблющаяся линза, множительные призмы, диффузионные фильтры – позволяет существенно трансформировать световые образы. Например, простое стекло, покрытое тонким слоем вазелина и поставленное перед камерой, заставляет яркое световое пятно испускать искры, струиться.

Дополнительная возможность усложнять световые образы появляется при печати – совмещение нескольких негативов, коррекция по яркости и цвету, использование эффекта соляризации при проявлении и т.д. Сложные графические рисунки создают способом мультипликации. Для этого нужны мультстанок и киноаппарат покадровой съемки. В ВОУ обычных СМИ при съемке трудно получить завихряющиеся и медленно гаснущие линии. Оригинально решена эта задача при создании фильма "Музыка и цвет" на студии им. Довженко. На светящейся экран, помещенный горизонтально, кладут плоскую кювету с прозрачным дном. Дно покрывают тонким слоем черной жидкости

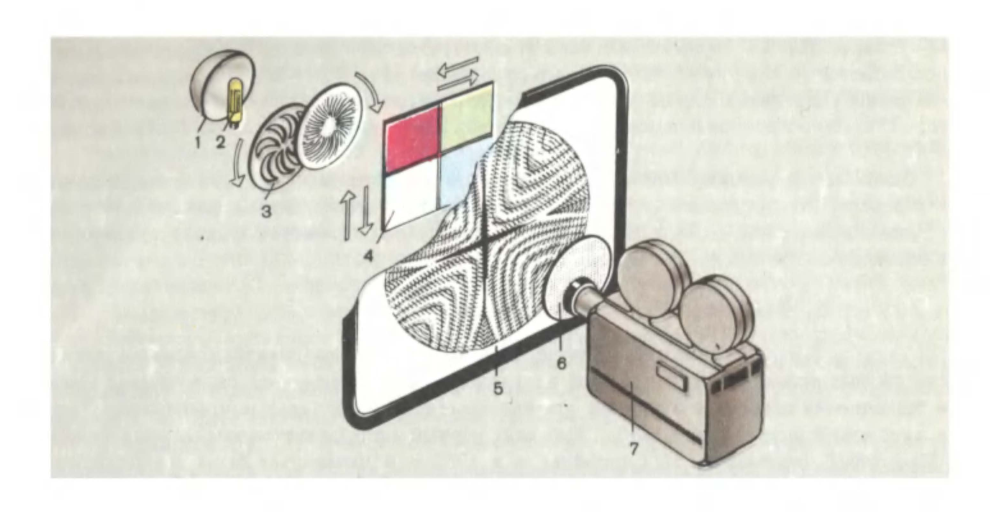


Рис. 84. Схема аппаратуры для съемки светомузыкальных фильмов

(типографская краска, разбавленная керосином, уайт-спиритом или подсолнечным маслом). Если провести по дну кистью, останется просвечивающая линия, которая будет затекать со скоростью, зависящей от концентрации разбавителя [31].

Другую оригинальную съемочную модель предложил режиссер О. Фишингер (США). На вертикальную раму натянута резиновая пленка, вдоль нее от края рамы через узкие щели направлен световой поток. Достаточно с обратной стороны продавить пленку, она попадает в световой поток и становится в темноте видимой. Продавливая пленку движущейся рукой или любым другим фигурным предметом, можно получить движение световых фигур по этому экрану. Лучшие его работы – "Оптическая поэма" на музыку Ф. Листа, "Вторая венгерская рапсодия" и эпизод "Токката и фуга ре минор" Баха в фильме "Фантазия" У. Диснея.

Оригинальный прием использовал режиссер А. Алексеев (Франция). В мягкую губку были воткнуты десятки тысяч булавок так, что их головки образуют точечный растр. Сближая их в различных местах, режиссер получал причудливые фантастические образы, которые и снимал мультспособом (фильм на музыку М. Мусоргского "Ночь на Лысой горе").

Проблему съемочных моделей "обходит" канадский режиссер Н. Мак-Ларен. Вооружившись лупой, он рисует отдельные кадры непосредственно на самой пленке. Лучшие его фильмы – "Горизонтальная линия" и "Прочь, скучные заботы" (на народную и легкую музыку).

Большие перспективы открывает покадровая съемка мульспособом отдельных фаз "компьютерной графики", создаваемой на дисплеях или графопостроителях, соединенных с ЭВМ.

В последних фильмах СКБ "Прометей" – "Космическая соната" и выпущенной в прокат картине "Светомузыка" на музыку Г. Свиридова "Маленький триптих" – использовались следующие средства: оптико-механические проекторы с дисковыми и объемными трафаретами (рис. 85, *а*), лампы с фигурными нитями, просвечивающие через линзу; горизонтальные и вертикальные кюветы с различными жидкостями, через которые продували воздух; слой железных опилок, управляемый магнитом (рис. 85, *б*); наборы кристаллов (рис. 85, *г*); осциллограф (рис. 85, *в*) и т. д. Вся эта техника и технология показана в специальном киноролике "Светомузыкальные фильмы? . . . Это очень просто!", снятом СКБ "Прометей" в 1975 г. Ознакомиться с ней мож-

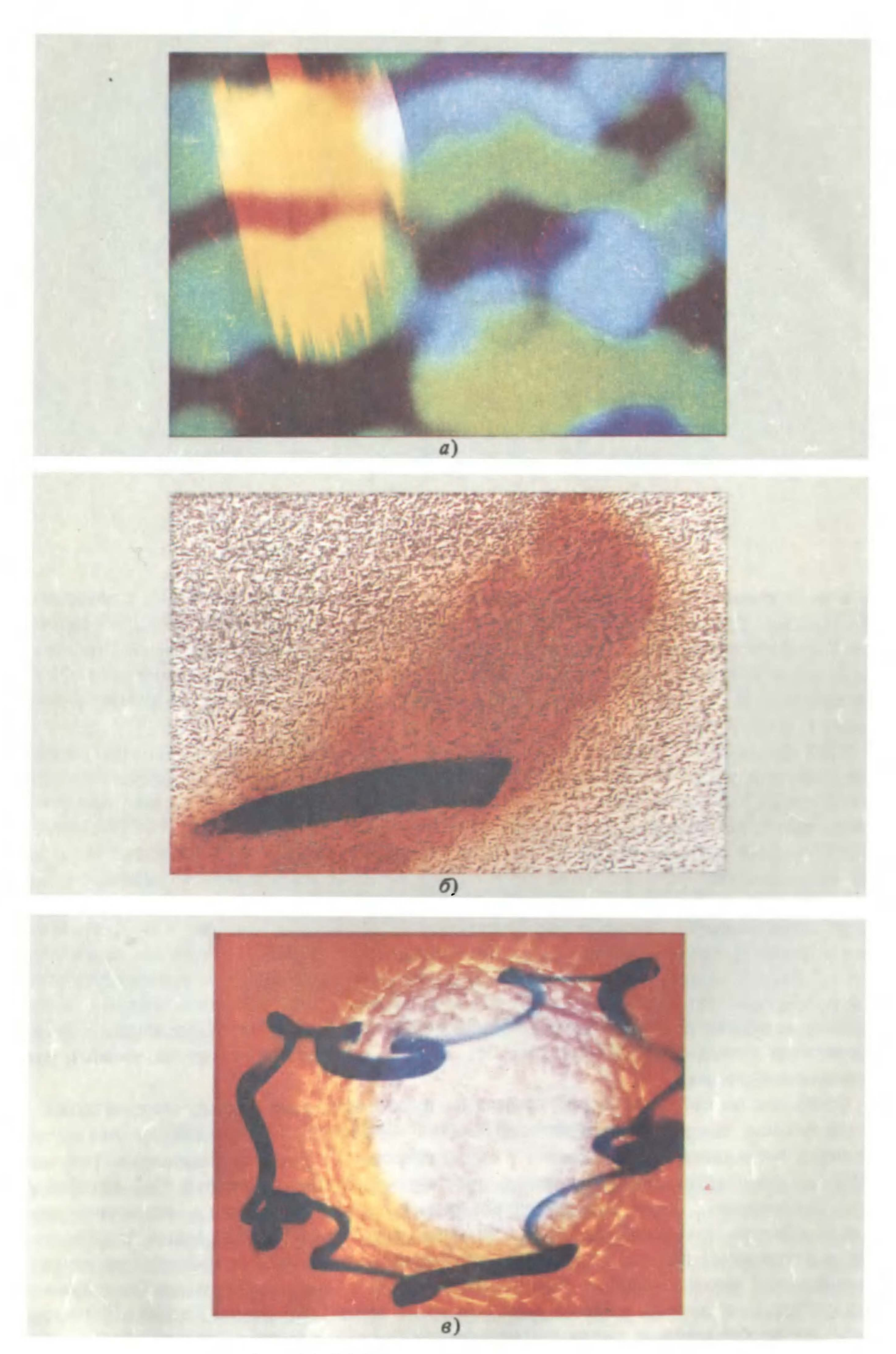
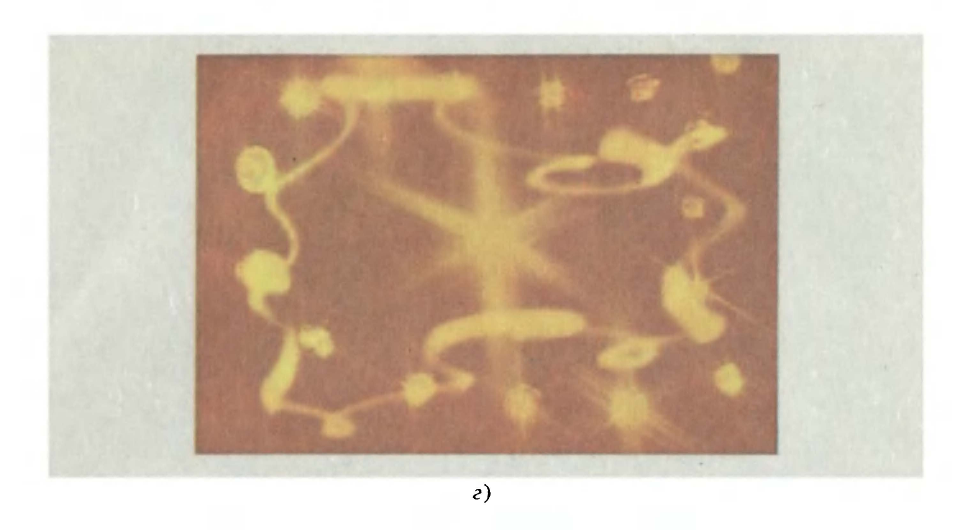


Рис. 85. Эффекты светомузыкального кино



г)

Рис. 85. Эффекты светомузыкального кино

но и по статьям [21,22]. Основа этой техники – отдельные ВОУ тех СМИ, с которыми читатель уже познакомился в нашей книге. Но работа с малогабаритными объектами съемки обусловила возможность дополнительного использования эффектных приемов "электронной графики", формируемой на экране двухлучевого осциллографа С1-16 с помощью специального электронного блока, управляемого светохудожником-оператором (конструктор В. В. Головков).

Каждым из лучей управляют автономно по яркости, толщине линии, степени расфокусировки, характеру рисунка, скорости вращения и перемещения фигур Лиссажу. Естественно, изображение на экране обычного осциллографа не цветное, что, как отмечалось выше, не является помехой при обращении к используемому в СКБ "Прометей" способу съемки. Но и в любительских условиях, во-первых, можно снимать изображение через цветные фильтры, окрашивая таким образом "электронную графику" на самой пленке в любой необходимый цвет. Во-вторых, учитывая, что главное в светомузыке – это пластика линий, соответствующая по значимости мелодии в музыке, можно с успехом снимать и черно-белые светомузыкальные фильмы. Установка "электронной графики" может быть использована и в сочетании с лазерной осциллографической разверткой, так что возможности этого прибора могут быть использованы в светомузыке весьма широко. Принцип действия установки аналогичен электронному блоку управления лазерного СМИ (см. рис. 76), только с более широкими частотными пределами генераторов.

Столь же своеобразны и результативны взаимоотношения между светомузыкой и телевидением. Минимальное в их содружестве – возможность трансляции светомузыки через телевидение и видеозапись с одной стороны и прямое использование готовых СМИ для оформления телевизионных программ, заставок – с другой. Но специфические возможности современной телевизионной техники позволяют воспроизводить и использовать светомузыку в неожиданных вариантах. Прежде всего, телекамера, как и кинокамера на рис. 84, может воспринимать светомузыкальные образы, воспроизводимые с помощью любых малогабаритных ВОУ. При этом другая телекамера может работать, например, с оркестром, певцом и через специальный микшер "впечатывать" их изображение в светомузыкальное изображение (метод "электронной инкрустации", аналогичный методу "блуждающей маски" в кино), но в телевидении это

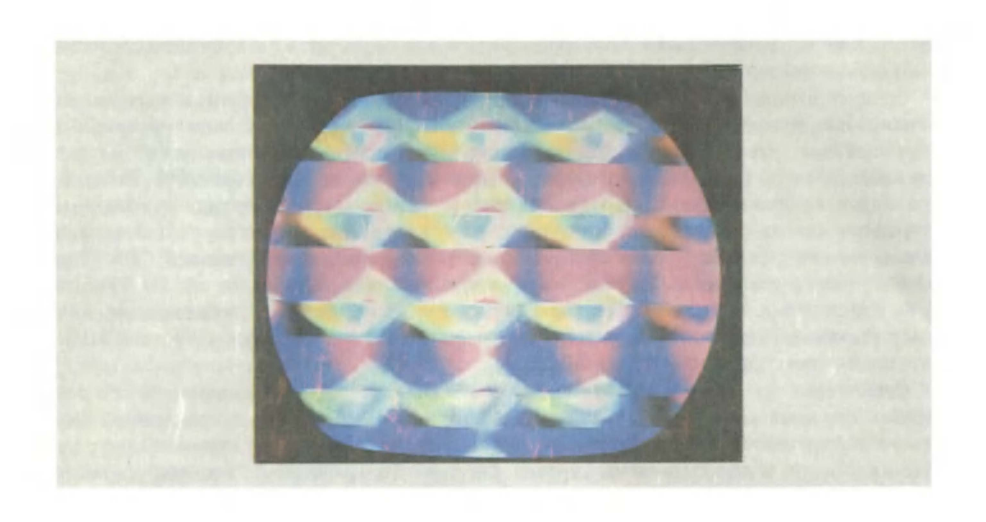


Рис. 86. Действие генераторов спецэффектов

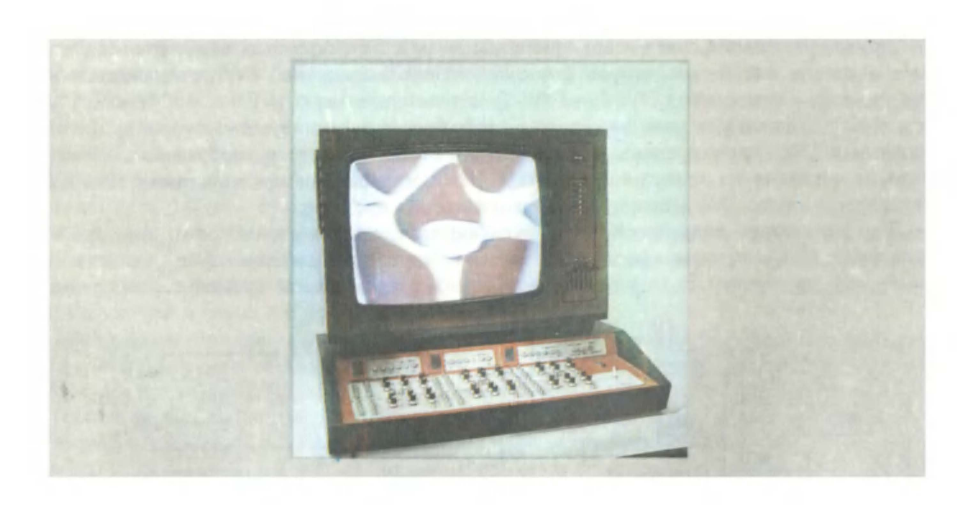


Рис. 87. Установка "Электронный художник"

"впечатывание" может быть реализовано мгновенно. Нейтральным фоном, на котором находится при этом певец, является, к примеру, синий цвет. Его и замещают другим необходимым изображением. Применение метода "электронной инкрустации" со светомузыкой открывает интереснейшие возможности. Если идет эстрадное представление на обычном фоне рисованной декорации и танцующие манипулируют гимнастическими кольцами, затянутыми синим материалом, то в этом круглом экране может воспроизводиться светомузыкальное изображение с первой телекамеры. В светомузыкальное "пламя" в руках танцующих превращаются при этом синие ленты и шар-

фы. . . Все эти возможности были проверены СКБ "Прометей" в совместных опытах с Казанским телевидением в 1980–1986 гг.

Следует напомнить при этом, что в оборудовании любого телецентра имеются так называемые пульты (генераторы) специальных эффектов. Возможно превращение этих пультов в своеобразные телевизионные СМИ, путем "модулирования" их стандартных сигналов внешним, в том числе и музыкальным сигналом (рис. 86). Но наиболее перспективно создание и подключение к телевизионному тракту специальных устройств светомузыкального назначения. Так, в передачах Казанского телевидения был применен синтезатор светомузыкальных изображений, разработанный СКБ "Прометей" под названием "Электронный художник" (конструкторы В. П. Букатин, Р. Ф. Сайфуллин), который может быть подключен телезрителем к собственному цветному телевизору (рис. 87). Этот синтезатор может работать в режиме ручного (СМИ) и автоматического управления (АСМУ) [20].

Существует принципиальное различие в способах реализации программы светомузыкального синтеза с помощью оптико-механических и телевизионных устройств. В оптико-механических светомузыкальных устройствах синтез осуществляют обычно, как уже отмечалось выше, теневыми транспарантами (трафаретами), которые являются своеобразными оптическими запоминающими устройствами.

В светомузыкальном синтезаторе "Электронный художник" функции запоминающих устройств вместо трафаретов выполняют генераторы функциональных напряжений, частота которых равна или кратна соответственно строчной и кадровой частотам телевизионной развертки. Функциональные напряжения формируют на экране ЭЛТ разнообразные световые образы, меняющиеся по заданной программе.

Структурная схема синтезатора приведена на рис. 88. Основным элементом синтезатора является набор генераторов функциональных напряжений *ГФН*, разделенных на две группы – основную (*ГФН-1* – *ГФН-3*) и дополнительную (*ГФН-А* – *ГФН-С*). *ГФН* основной группы на экране формируют изображение заданной конфигурации. Дополнительные *ГФН* предназначены для усложнения получающегося изображения вычитанием их сигналов из сигналов основных *ГФН* с помощью коммутатора вычитания *КВ*. Сигналом каждого *ГФН* можно управлять в широких пределах.

Для управления динамикой формируемого изображения служит блок движений и пульсаций *БДП*, обеспечивающий линейные и круговые движения фигур и плавное изменение их контуров (в режиме пульсаций) регулируемой временно́й задержкой

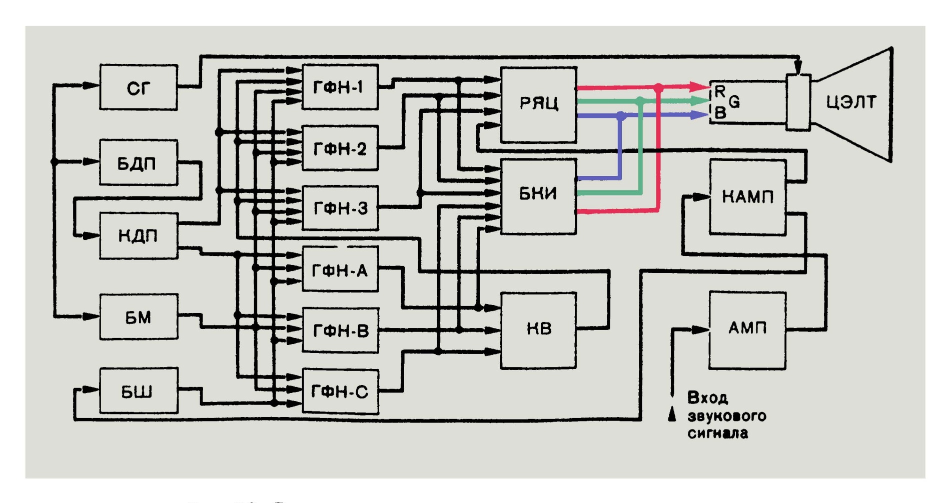


Рис. 88. Структурная схема телевизионного светомузыкального синтезатора

строчных и кадровых синхроимпульсов. Необходимое направление движения и тип пульсаций выбирают соответствующей коммутацией строчных и кадровых синхроимпульсов посредством коммутатора движения и пульсаций *КДП*.

Блоки шумов *БШ* и муаров *БМ* дополнительно усложняют изображение (изменяют фактуру) наложением на него шумового сигнала с *БШ* либо периодических сигналов с *БМ*, получаемых от деления синхронизированной частоты 1 МГц на любое число от 1 до 256. Сформированные таким образом видеосигналы с *ГФН* поступают на регулятор яркости и цветности *РЯЦ*, а с него – на соответствующие электронные прожекторы *R*, *G*, *B* цветного кинескопа. С помощью коммутатора блока контроля изображения *БКИ* можно вывести предварительно на экран изображение, формируемое любым *ГФН*, чтобы установить и выбрать его желаемую конфигурацию.

Блоком *РЯЦ* управляет музыкальный сигнал через коммутатор анализатора музыкальных программ (*КАМП*). Так как нас здесь интересует работа системы в режиме СМИ, мы не станем останавливаться на описании *АМП*, отметим только, что имеется возможность управления сигналами с *АМП* такими параметрами, как степень пульсации, скорость движения, размер выбранных форм, уровень визуального шума и т. д. Поскольку зрелищность и выразительность формируемого изображения полностью определяются *ГФН*, рассмотрим их работу более подробно. Сформированное изображение представляет собой, как правило, произвольную абстрактную композицию, что затрудняет ее формальное описание. Конечный результат здесь будет зависеть от богатства художественной фантазии и вкуса разработчика светомузыкального устройства и исполнителя, который будет его в дальнейшем эксплуатировать.

Как показали эксперименты, при формировании произвольного изображения результат по зрелищному эффекту получается тем более интересным, чем более высокого порядка функцией является формируемое *ГФН* напряжение. Это подтверждают и неудачные попытки использовать в качестве *ГФН* генераторы различных простейших спецэффектов, в которых, как правило, используют линейные напряжения. По-своему выразительные и интересно воспринимаемые, эти спецэффекты при прямом непосредственном использовании смотрятся как однообразные плоские формы, легко и постоянно узнаваемые при попытке синтезировать с их помощью уже светомузыкальное изображение. Поэтому *ГФН*, разработанный для светомузыкального устройства, имеет широкие функциональные возможности и позволяет формировать напряжения первого и более высокого порядков в зависимости от входного управляющего сигнала. Структурная схема его приведена на рис. 89.

На входные ждущие мальтивибраторы *ЖМ1* и *ЖМ2* поступают с *КДП* синхроимпульсы, кратные строчной и кадровой частоте. Прямоугольные импульсы с выхода мультивибраторов в преобразователях *П1* и *П2* превращаются в напряжение, например, треугольной формы, которое может быть линейным или нелинейным, а в следующих преобразователях, *П3* и *П4* соответственно, уже в напряжение, например параболической формы. После суммирования напряжений строчной и кадровой частоты получают практически готовый к применению видеосигнал, который окончательно формируется в компараторе *К*.

Наибольший интерес здесь представляют преобразователи *П3, П4*. Преобразователи собраны на полевых транзисторах, режим которых изменяется либо переменными резисторами, либо подачей на их затворы управляющего напряжения.

Если в качестве управляющих напряжений использовать, например, синусоидальные с частотами $f_{\text{кадр}} \pm \Delta f_1$ и $f_{\text{стр}} \pm \Delta f_2$, то в результате дополнительной модуляции входных сигналов $U_{\text{вх}1}$ и $U_{\text{вх}2}$ формируемое на экране цветного кинескопа изображение будет плавно изменять свою конфигурацию (пульсировать) независимо в горизонтальном и вертикальном направлениях. Эти управляющие напряжения формирует *БДП* (см. рис. 88). Помимо этого, в *ГФН* предусмотрено изменение полярности видеосигнала, что на экране воспроизводится как переключение негативного изображения на позитивное, и наоборот.

8 Зак 6177

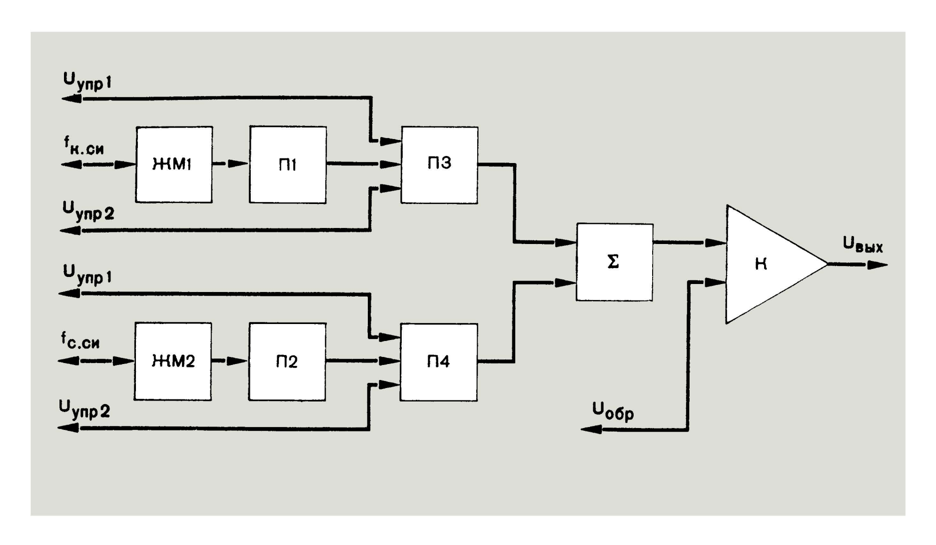


Рис. 89. Структурная схема *ГФН*

С целью более удобной работы с видеосигналом и увеличения помехозащищенности на выходе *ГФН* аналоговый видеосигнал с помощью компаратора преобразуют в цифровую форму. С другой стороны, применение цифровой техники делает синтезатор более технологичным устройством, позволяющим свободно наращивать его изобразительные и функциональные возможности.

Разработанный синтезатор "Электронный художник" обладает гибкой системой управления изображением, что дает возможность использовать его в качестве небольшого камерного СМИ, а вне связи с музыкой – как вспомогательную "электронную палитру" для дизайнеров, художников-орнаменталистов, оформителей книг и т.д. Во всех этих случаях многообещающе совмещение этой системы с описанной выше установкой "электронной графики" (точнее, тремя ее комплектами, связанными с тремя электронными прожекторами цветного кинескопа). Необходимо только с помощью известных в телетехнике средств согласовать осциллографическую и телевизионную развертки электронного луча. Безграничны возможности телевизионной светомузыки и светоживописи при сочетании их с компьютерной графикой, формируемой в реальном масштабе времени с помощью ЭВМ [38].

17. Свет и музыка под открытым небом

Автор "Прометея", великий композитор А. Н. Скрябин мечтал о гигантских, космического масштаба светомузыкальных феериях, в световую партию которых вплетались бы закаты, звездное небо. Подобные картины, если и можно увидеть сегодня, то разве лишь в планетариях, где проводятся "лазериумы" на фоне Млечного пути. А фантазия художников торопится уже продолжить эти скрябинские мечты проектами управляемых под музыку северных сияний, освещаемого сверхмощными лазерами непрерывного действия диска Луны, излучающих цветные лучи искусственных спутников Земли (к примеру, рис. 90, оригинальный замысел московского светохудожника Ф. А. Инфанте).

И незаметно, буквально на наших глазах то, что считалось фантастикой, постепенно становится реальностью. "Действие этой музыки, как бы выходившей из недостижимой глубины вод, в этом чудном слиянии звуков, волн и света, все это привело меня в упоение", – пишет писатель-фантаст В. Одоевский в 1838 г., поведав нам о некоем "гидро-

фонном" СМИ. А через 100 лет другой писатель А. Казанцев, как бы продолжает его текст: "Музыка нарастала. Выше вздымались оранжевые фонтаны. Загремели сильные полные удары и прекрасной ярко-красной струей крови взвился из середины водяного леса семидесятиметровый фонтан. Заколыхались вместе с музыкой, то припадая, то взмываясь, танцующие струи". Только у А. Казанцева это уже впечатление от реально виденного зрелища на международной выставке в Нью-Йорке в 1939 г. Еще больших размеров светомузыкальный фонтан действовал там же на аналогичной выставке в 1964 г.

В этих комплексах БУМ управляет не только яркостью ламп, но и гидравлическими вентилями, заставляя струи фонтана менять высоту под музыку (рис. 91). Основное их назначение – украшение площадей и парков. В Советском Союзе такие фонтаны функционируют в Ереване, Сочи, Батуми, Мисхоре, Грозном, Баку, Ялте, Симферополе, Пятигорске, Кривом Роге, Ростове-на-Дону, Великих Луках, Павлодаре, Волгограде, Кирове, Ульяновске, Свердловске, Харькове, Пензе, Альметьевске, Нижнекамске и даже в некоторых совхозах и колхозах. Все они созданы на разнородной световой, электронной и гидравлической аппаратуре, предназначенной для иных целей. За рубежом известны светомузыкальные фонтаны в болгарских городах Пловдив, Плевна, в Чехословакии (Брно), в Индонезии (Джакарта), на Кубе (Гавана), в ЮАР (Иоганнесбург) и т.д. Многие из них действуют либо в режиме АСМУ, либо по автономной программе. И, к сожалению, не всегда действие таких фонтанных АСМУ отвечает архитектуре самого фонтана, противоречит ему.

Избежать этого несоответствия можно при управлении фонтанами в режиме СМИ. У нас в стране пока единственный такой комплекс действует с 1980 г. в Москве, в Парке культуры и отдыха им. М. Горького. За рубежом известны фонтанные СМИ в Версале, Гамбурге, Доминиканской республике (Санто-Доминго), сочетаемые к тому же с театрализованным действием, балетом. Фирма "Сименс" многие годы выпускает аппаратуру для подобных СМИ, но, к удивлению, в ней отсутствует возможность плавного управления яркостью света.

Учитывая отечественный и зарубежный опыт, в СКБ "Прометей" создан комплекс, который по мнению его авторов может быть рекомендован для всеобщего использования. Структурная схема в общих чертах напоминает СМИ "Прометей-3" (см. рис. 57). БУМ выполнен на базе театральных тиристорных регуляторов ТСТ-30. Число каналов – 10. Подводные светильники созданы на базе архитектурных прожекторов СЗЛ-300 (заменены лампы и улучшена герметизация). На фонтанах разрешается использовать напряжение питания светильников не более 24 В. Поэтому на выходах БУМ установлены понижающие трансформаторы, а лампы выбраны галогенные, КГМ-24-150. Отдельные маломощные БУМ созданы для управления десятью гидравлическими вентилями, совмещенными с электропневматическими и механическими приводами. Общее число форсунок на акватории 1800 м^2 около 600, светильников – 500. Максимальная мощность светового канала примерно 100 кВт, гидравлического – 200 кВт. В пульте управления предусмотрена возможность работы в режиме СМИ, сложного АСМУ и по программе, создаваемой генераторами инфранизкой частоты.

Существуют многочисленные модификации фонтанных светозвуковых зрелищ. Эффект действия фонтана увеличивается, если под музыку отклонять струи отражателями, движением форсунок. Влагозащищенные источники света помещают не только у основания струй (над или под водой), но и так, чтобы они светили в торец струи, которая тогда работает как световод (но технически это реализовать довольно сложно).

В качестве экрана ВОУ используют искусственные водопады, бассейны. Существуют проекты создания специальных фонтанных танкеров, курсирующих ночью у берега и выпускающих воду в море в виде танцующих и светящихся струй (автор замысла для Сочи А. А. Абрамян). Подобный принцип уже был использован на реке Сене во время

международной выставки 1937 г. в Париже. Наряду с этими фонтанами-гигантами известны небольшие фонтанные СМИ, которые используют в цирковых феериях.

Во многих городах мира проводят лазерные представления. Зрелище рассчитано на многие сотни тысяч, иногда миллионов людей. Изображение проецируют на облака с применением сложных сканирующих устройств, управляемых микропроцессорами и ЭВМ. Развертывающие узлы позволяют рисовать и реальные узоры, надписи. Чаще всего эти представления используют без музыки, они являют собой яркие праздничные, либо рекламные зрелища. Естественно, здесь применяют дорогостоящую технику – лазеры мощностью до 20 Вт с водяным охлаждением и блоком питания мощностью 200–250 кВт.

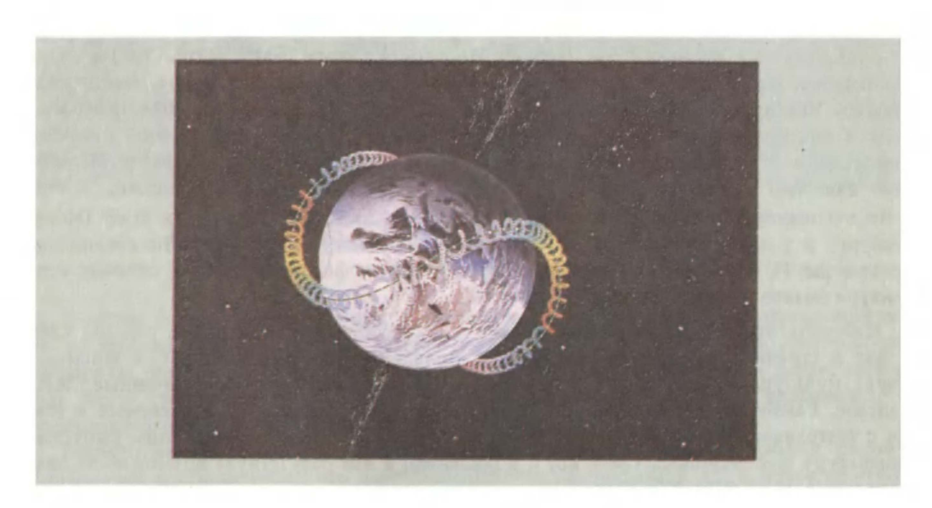


Рис. 90. Фантастический проект "Космическое ожерелье"

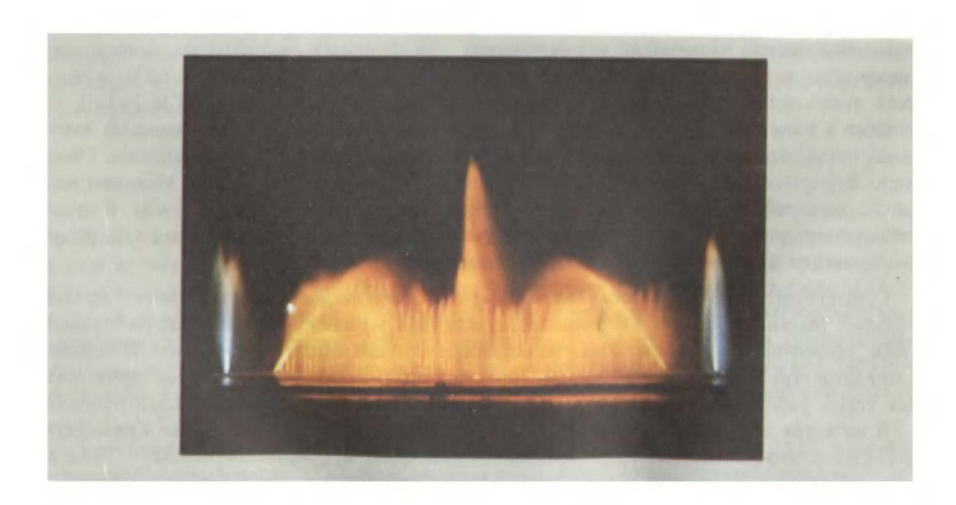


Рис. 91. Светомузыкальный фонтан в парке им. М. Горького (г. Москва)



Рис. 92. Макет "здания-светоинструмента"

Ближе к светомузыке, хотя и реже реализуемы, проекты с использованием в качестве экранов СМИ больших плоскостей из стекла и бетона современных архитектурных сооружений. Так, в 1961 г. французский художник Н. Шеффер превратил в гигантский СМИ здание Дворца конгрессов в г. Льеж (Бельгия). С аналогичным проектом выступило в свое время и СКБ "Прометей", выбрав для этого эксперимента здание актового зала Казанской консерватории. Идея была проверена в действующем макете, убедившем в ее перспективности (рис. 92). Естественно, реализация подобных замыслов сопряжена с большими организационными и материальными затратами. Необходимо озвучить большое открытое пространство, построить автономную трансформаторную подстанцию. Стеклянные плоскости стен на время представления необходимо перекрывать полупрозрачным экраном.



Рис. 93. "Малиновый звон" в Казанском кремле

Наша кинопромышленность выпускает сворачивающиеся экраны ЭВУ-У размерами 4×1,7 м и 5×2 м, управляемые вручную, и их автоматические аналоги ЭБМ-П-У с дистанционным электроприводом (их размеры: 5×2, 2 м; 7×2,95 м). При использовании тонких полупрозрачных материалов высота экранов может быть увеличена. Электронные блоки управления и мощности можно заимствовать из аппаратуры казанского светомузыкального фонтана. Остальная аппаратура может быть подобной СМИ "Прометей-3" с диапроекционными ВОУ, снабженными длиннофокусными объективами (имеются в комплекте серийной театральной светоаппаратуры). В обычное время эти многие десятки диапроекторов, находящихся внутри здания, следует скрыть от взгляда зрителя (в стенных нишах).

Подобное светомузыкальное представление могло бы украсить в праздничные дни и московский Дворец съездов, особенно если действие этого зрелища сочетать со "светящимся" звоном колокола Спасской башни Кремля (эффективность системы "Малиновый звон" уже давно проверена в Казанском Кремле (рис. 93)).

"Звук и Свет" – это уже собственно жанр театрального зрелища, хотя и включает в себя как обязательные компоненты светомузыкального синтеза.

Спектакли "Звук и Свет" обычно проводят под открытым небом, чаще всего на том месте, где когда-то происходили исторические события. "Действующими лицами" таких спектаклей являются не актеры, а их голоса, а также шумы, музыка, перемещаемые в пространстве с помощью многоканальной электроакустической аппаратуры, а декорацией – окружающий ландшафт и архитектурные сооружения, освещаемые динамическим светом.

Элементы подобного стереофонического радиотеатра, правда, совмещаемые с непосредственным сценическим действием актеров и декорациями, используют довольно часто и в обычном театре, и в традиционных массовых представлениях под открытым небом, например в спектакле "Преданьями своими славен", поставленном в Петродворце в 1966 г. Первый в мире спектакль "Звук и Свет" был проведен во Франции в 1952 г. (автор П. Робер-Уден). В настоящее время во Франции стационарно действующих установок около 100. Такие же установки действуют на многих исторических памятниках Англии, Египта, Греции, Мексики, США, Индии и т. д. (рис. 94).

Первый в СССР спектакль "Звук и Свет" под названием "Навечно в памяти народной" был поставлен в 1970 г., в Казани, в дни празднования 25-летия Победы над Германией (авторы Б. М. Галеев, Н. К. Валитов, И. Л. Ванечкина). Общая мощность всех использованных двадцати световых каналов составляла 180 кВт. В качестве БУМ использовали автотрансформаторы РНО разной мощности, сведенные в один пульт и управляемые несколькими исполнителями. В качестве ВОУ – прожекторы ПФС-45, КПЛ-10, КПЛ-35. Общая мощность всех звуковых каналов – 1500 Вт. С четырех магнитофонов МЭЗ-15 воспроизводили и по 17 точкам "сцены" (мемориальный комплекс) перемещали все необходимые комбинации звуков [2]. Опыт показал необходимость обязательного использования многоканальной записи стереозвука и последующей фиксации на ленте всех сигналов переключений в звуковом и световом каналах для полной автоматизации процесса воспроизведения спектакля уже без операторов.

Сейчас основной ассортимент серийной аппаратуры спектаклей "Звук и Свет" выпускают фирмы "Филлипс", ЭКА и "Мазда", венгерская "Электроимпекс" и финская "Стрёмберг". Советскими инженерами разработаны варианты установок, использованные при постановке первого в СССР стационарного представления в Самарканде (1975 г.) и подготовке подобного спектакля в Ереване.

Такие спектакли в упрощенном виде посильны и самодеятельным коллективам. Постановку их можно реализовать в парках, на площадях городов. Для этого можно использовать театральные регуляторы "Спутник" и специальные многоканальные магнитофоны, если их дополнить несложными устройствами записи и дешифрирования управляющих сигналов.

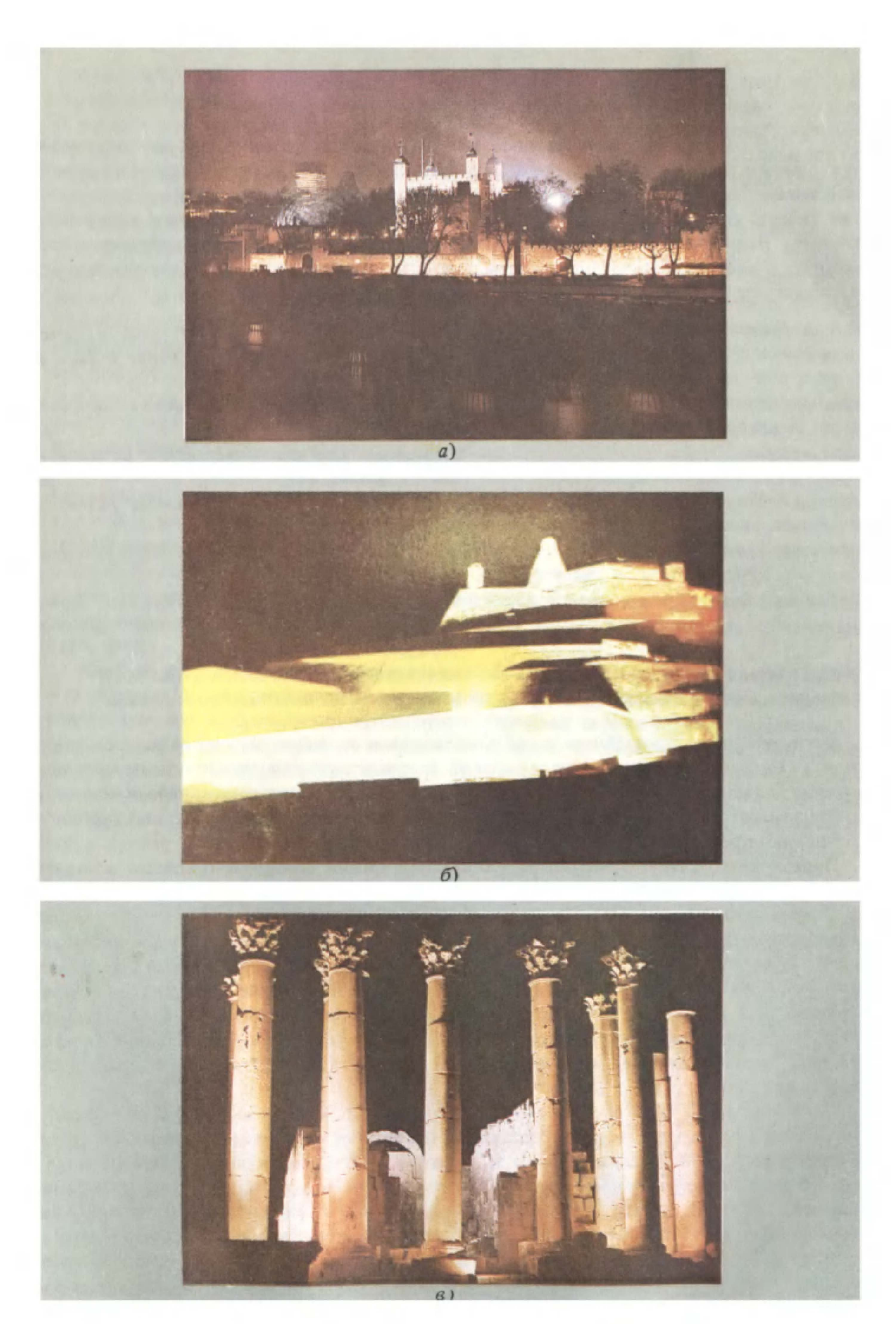


Рис. 94. Спектакль "Звук и Свет": *а* – в замке Тауэр (Лондон); *б* – на древних пирамидах (Мексика); *в* – в античных руинах (Иордания)

Вместо заключения

Принципы создания светомузыкальных композиций

Если читатель ждет здесь точных рецептов, избавляющих от творческих мук, мы его разочаруем. Наша цель как раз в обратном – убедить в принципиальной невозможности существования таких рецептов в светомузыкальном творчестве. Мы можем указать лишь на самые общие положения, которые выявили на основе собственного опыта. Наши рекомендации и объяснения носят чисто методический характер – как находить самим необходимые средства и приемы светомузыкального творчества, отталкиваясь от известных психологических соответствий:

динамика звука (изменение громкости)	*– динамика "светового жеста" (это и изменение общей яркости и движение образа в глубину);*
темп музыки	*– скорость движения или изменения световых образов;*
ритм музыки	*– временны́е или пространственные акценты в световой пластике;*
мелодическое развитие	*– изменение рисунка, пластическое развитие изображения;*
изменение тембра	*– изменение цвета и фактуры этого изображения;*
сдвиги по регистру	*– изменение размера и сопутствующая этому концентрация света (изменение яркости образа);*
смена тональности	*– изменение колорита всей композиции;*
смена лада (мажор, минор)	*– изменение светлоты всей композиции.*

Остановимся на простейшем и распространенном варианте светомузыкальной практики – создании световых сопровождений к существующим музыкальным произведениям (помня при этом, что конечной целью нового искусства является создание оригинальных композиций, где и звуковую и световую партии создают совместно, в подчинении единому художественному замыслу).

Прежде всего следует учитывать, что светохудожник обязательно должен исходить при создании световой партии из того арсенала средств, которым он располагает. И одна и та же музыка находит разное световое воплощение в зависимости от того, какой светоинструмент при этом используется. Так, заметно отличаются световые интерпретации "Прометея" А. Н. Скрябина на растровом инструменте "Прометей-2", на проекционном СМИ "Харьков", в залах "Октябрьский" в Ленинграде и Центральном концертном зале в Москве. Но важны здесь не только технические возможности самих СМИ, а и художественная концепция авторов светокомпозиций, направленная на максимально возможное выявление потенциала своих СМИ при воплощении поставленной творческой задачи.

"Как же так, – спросите вы, – музыка одна, а световые интерпретации разные?" Но вспомните, что даже в кино создают по нескольку экранизаций одного и того же литературного произведения. И нет в этом никакого взаимоисключения. Известны случаи создания нескольких романсов на одно стихотворение различными композиторами. Или более близкий пример: создают хореографические композиции на симфоническую музыку. И у разных хореографов они получаются неодинаковыми. Даже больше – одинаковость служила бы признаком нетворческого подхода. Во всех этих примерах при различии творческих решений интерпретации равноправны, а уж собственно реальный успех определяется талантом интерпретатора, в нашем случае – светохудожника.

Прежде всего необходимо вникнуть в содержание и структуру выбранного музыкального произведения. Ведь музыка – это не просто набор приятных звукосочетаний,

бессмысленно ласкающих слух. В ней заложена определенная мысль, идея, пусть и не пересказываемая словами, но способная потрясти душу внимательного слушателя. В музыке нет действующих лиц, как в театре; но в ней заложена драматургия музыкальных тем, которые взаимодействуют, ведут диалог, борьбу. . . Музыкальные темы обычно представлены как яркие, узнаваемые мелодические фразы, мотивы. Эти музыкальные темы и являются здесь "действующими лицами" произведения.

Светомузыкальная композиция, как мы уже отмечали в прежних изданиях, – это своего рода инструментальная хореография, танец световых образов. Но в балете "визуальный объект" неизменен – это движущееся человеческое тело, "управляемое" музыкой. В светокомпозиции же световой образ может быть практически любым, и одной из основных целей светохудожника является выбор и формирование светового образа, близкого по художественному воздействию к воплощаемой музыкальной теме, мелодии. Как раз здесь и проявляется талант светохудожника, это есть основная фаза его творчества. Здесь он и выступает как собственно светоживописец, рисующий световой кистью на экране. (Эту работу, естественно, предваряют созданием эскизов по основным эпизодам произведения, рис. 95.)

Но музыка развивается во времени. И надо быть теперь световым хореографом, режиссером, управляющим логикой развития исходных световых образов. Ведь музыкальная тема, мелодия, оставаясь узнаваемой, тем не менее постоянно изменяется, трансформируется – и по громкости, регистру, ритмическому рисунку, и по темпу воспроизведения, по тональности. Иногда она переходит в другой тембр, т. е. звучит в исполнении разных инструментов. Аналогичные изменения происходят и в облике развивающегося светового образа – он меняется в контурах, размерах, яркости, фактуре, цвете.

Какими же должны быть сами световые образы? Они могут быть похожи на рисунок орнамента – и притягательно синтезировать при этом национальные мелодии с соответствующим национальным орнаментом. Световая партия может содержать и намеки на пейзажные образы – если сама музыка изобразительная (или, как говорят музыканты, программная). Так, активно применяют изобразительные проекции стилизованных облаков, солнца, мерцающей воды, фантастических цветов в светоконцертах харьковской и полтавской студий. Другого рода картины, скорее приближающиеся к неким неземным, космическим пейзажам, к картинам В. В. Кандинского, ис-



Рис. 95. Так рисуют дети музыку (из экспериментов СКБ "Прометей" в средней школе)

пользуют в светокомпозициях казанская, ужгородская студии. Соответственно и музыку здесь чаще привлекают не обычную, а электронную.

Как должны изменяться эти светоживописные образы во времени, как они связаны с музыкой? Должны ли они постоянно реагировать на любые изменения в музыке? Например, изменился регистр – экран стал светлее, увеличилась громкость – стал крупнее световой образ, вступил новый инструмент – изменился цвет световой пластики. Конечно, учитывать логику музыкального развития нужно обязательно, но светоцветовые изменения вовсе не обязательно должны быть синхронными и однозначными. Ведь главное в светомузыкальном творчестве – добиться художественно-образного единства в синтезе. А при стремлении к этой цели музыка и свет могут и должны порой противоречить друг другу, развиваться самостоятельно (прием слухозрительной полифонии). Естественно, в полной мере этот прием можно использовать лишь в оригинальных светомузыкальных композициях. Но и при создании светового сопровождения к музыке он проявляет себя как содержательное и эффективное художественное средство. И вынуждает заметить и осмысленно применять специфику самого материала световой проекции – ведь, в отличие от танцующего человека, световой образ может мгновенно исчезнуть, появиться в любой точке экрана и уже в другом облике, остановиться, заполнить весь экран, стать фоном для нового светового образа и т. д.

Помочь в постижении различных приемов светомузыкального монтажа может опыт других искусств. Конечно, это не просто, и бо́льших результатов здесь добьется тот, у кого рядом с верстаком и осциллографом находится полка с альбомами по живописи, с записями Скрябина, Шостаковича, Свиридова. Счастье творчества в неизведанной области откроется в полной мере тому, кто видит в пылающем костре не просто быстрое окисление органических веществ, а волшебную магию вечного движения. Достигнет бо́льшего здесь тот, кто не удивляется таким, например, словам поэта: "Флейты звук зорево-голубой, так по-детскому ласково-малый, барабана глухой перебой, звук литавр торжествующе-алый". . . И тот, кто хоть на шаг продвинется вперед в области работы со СМИ, воочию убедится в силе их воздействия, в тех огромных возможностях, которые таит в себе юное искусство космического века.

Список литературы

Теория и история светомузыки

1. **Ванечкина И. Л., Галеев Б. М.** Поэма огня: Концепция светомузыкального синтеза А. Н. Скрябина. – Казань: КГУ, 1981. – 168 с.
2. **Взаимодействие** и синтез искусств: Сб. статей. – Л.: Наука, 1978. – 270 с.
3. **Галеев Б. М.** Светомузыка: Становление и сущность нового искусства. – Казань: Таткнигоиздат. – 272 с.
4. **Галеев Б. М.** Поющая радуга: Книга о светомузыке и светомузыкантах. – Казань, Таткнигоиздат, 1980. – 120 с.
5. **Галеев Б. М.** Содружество чувств и синтез искусств. – М.: Знание, 1982. – 64 с.
6. **Зорин С. М** Свет, движение, музыка. – В кн.: Панорама искусств-78. – М.: Советский художник, 1979, с. 327–339.
7. **Искусство** светящихся звуков: Сб. статей. – Казань: КАИ, 1973. – 264 с.
8. **Леонтьев К. Л.** Музыка и цвет. – М.: Знание, 1961. – 64 с.
9. **Леонтьев К. Л.** Цвет "Прометея". – М.: Знание, 1965. – 128 с.
10. **Ломакин Л.** Цветомузыка: итоги и перспективы. – Радио, 1979, № 12, с. 46 – 48.
11. **Пухначев Ю. В.** Число и мысль (Четыре измерения искусства). – М. : Знание, 1981, вып. 4. – 176 с.
12. **Эйзенштейн С. М.** Вертикальный монтаж. – Избранные сочинения в 6-ти т. – М.; Искусство, 1964, т. 2, с. 189 – 266.
13. **Юрьев Ф. И.** Музыка света. – Киев: Музична Украина, 1971. – 96 с.

Технические разработки

14. **Баев А. И.** Диапроекторы, кодоскопы, эпидиаскопы. – Сценическая техника и технология, 1982, № 1, с. 36–38.
15. **Белоусов А.** Цветомузыкальный орган. – Радио, 1983, № 8, с. 49–50.
16. **Библиография:** Регуляторы света. – Сценическая техника и технология, 1980, № 5, с. 29–32.
17. **Библиография:** Сценические эффекты. – Сценическая техника и технология, 1982, № 5, с. 38.
18. **Боднер М., Шевяков Г., Клюжнер И.** Цветовой синтезатор. – В кн.: Лучшие конструкции 28-й выставки творчества радиолюбителей. – М.: ДОСААФ, 1981, с. 87–93.
19. **Бормотов М.** Цветосинтезатор. – Радио, 1982, № 2, с. 49; 1984, № 5, с. 53.
20. **Букатин В. П., Сайфуллин Р. Ф.** Электронный синтезатор светомузыкальных изображений на цветной электронно-лучевой трубке. – Техника кино и телевидения, 1983, № 2, с. 51–54.
21. **Галеев Б. М.** Светомузыка на киноэкране. – Техника кино и телевидения, 1973, № 11, с. 35–39.
22. **Галеев Б. М.** Съемочные модели для создания светомузыкальных фильмов. – Техника кино и телевидения, 1976, № 9, с. 69–72.
23. **Галеев Б. М.** "Клавилюксы" – приборы для светоживописи. – Сценическая техника и технология, 1983, № 1, с. 25–26.
24. **Галеев Б. М., Андреев С. А.** Принципы конструирования светомузыкальных устройств. – М.: Энергия, 1973. – 104 с.
25. **Галеев Б. М., Сайфуллин Р. Ф.** Светомузыкальные устройства. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
26. **Галеев Б. М., Сайфуллин Р. Ф.** Светомузыкальная установка многоцелевого назначения. – Сценическая техника и технология, 1984, № 2, с. 18–20.

27. **Горбунова Е. В.** Обзор патентной литературы по светомузыкальным установкам. – Сценическая техника и технология, 1981, № 6, с. 20–22.
28. **Гуторов М. М.** Основы светотехники и источники света. – М.: Энергия, 1968. – 392 с.
29. **Дзюбенко А. Г.** Цветомузыка. – М.: Знание, 1973. – 64 с.
30. **Долгополов В. И.** Светотехнические материалы. – М.: Энергия, 1972. – 168 с.
31. **Карюков М. Ф.** Цветомузыка в кинофильмах. – Техника кино и телевидения, 1968, № 7, с. 13–16.
32. **Линник М.** Цветодинамический клавир. – Радио, 1982, № 1, с. 46–48; 1983, № 9, с. 62.
33. **Луценко Э.** Цветосинтезатор. – Радио, 1979, № 7, с. 49–50.
34. **Мельников Ю. Ф.** Светотехнические материалы. – М.: Высшая школа, 1976. – 152 с.
35. **Михалевский Д. В.** Свет лазера – материал для формирования сценической среды спектакля. – Сценическая техника и технология, 1984, № 2, с. 8, 9; 1984, № 1, с. 6–8; 1983, № 5, с. 19–22.
36. **Музыкальные** синтезаторы: Сб. статей. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
37. **Правдюк Ю. А.** Установка для концертов цветомузыки. – Сценическая техника и технология, 1970, № 6, с. 19–23.
38. **Синтезаторы** (Сб. статей). – М.: Знание, 1983. – 64 с.
39. **Сухопаров А.** Волшебный фонарь: – Калейдопроектор. – Наука и жизнь, 1982, № 12, с. 97–100.
40. **Тарасенко Л. Г.** Киноустановка многоцелевого назначения. – М.: Искусство, 1984. – 128 с.
41. **Шкап Л. Ц., Заботин В. А.** Театральные регуляторы освещения. – М.: Энергия, 1978. – 88 с.
42. **Шпизель М. Б.** Комбинированный лазерный дефлектор в спектакле. – Сценическая техника и технология, 1983, № 6, с. 17; 1984, № 5, с. 18; 1983, № 2, с. 16, 17.
43. **Шумилов А. Е., Жиганов Ю. И.** Лазерный светоинструмент. – Сценическая техника и технология, 1983, № 1, с. 21–24.
44. **Шумилов А. Е., Андреев А. И.** Программатор для диапроектора. – Радио, 1983, № 11, с. 35, 36.
45. **Электроника** в театре (Сб. статей). – М.: Знание, 1983. – 64 с.

Оглавление

Галеев Б. М., Зорин С. М., Сайфуллин Р. Ф.

Г 15 Светомузыкальные инструменты. – М.: Радио и связь, 1987. – 128 с.: ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1117)

Рассмотрены вопросы конструирования светомузыкальных инструментов, позволяющих исполнителю-оператору получать на экране сложные светодинамические образы, синтезируемые с музыкой по заранее подготовленной партитуре. Описаны инструменты разного типа действия, подробно описаны конструкции и схемы пультов управления, блоков мощности, выходных оптических и акустических узлов.

Для подготовленных радиолюбителей.

Г $\frac{2402020000-103}{046(01)-87}$ 71–86

ББК 32.84

Булат Махмудович Галеев
Сергей Михайлович Зорин
Рустам Фаттахович Сайфуллин

СВЕТОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Редактор Л. Н. Ломакин
Редактор издательства И. Н. Суслова
Художественный редактор Н. С. Шеин
Обложка художника А. С. Дзуцева
Рисунки художника С. Г. Бессонова
Технический редактор Г. И. Колосова
Корректор Т. В. Покатова

ИБ № 759

Подписано в печать 2.03.87. Т-04058. Формат 60×90/16. Бумага офс. № 1. Гарнитура «Пресс-роман». Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,0. Усл. кр.-отт. 66,25. Уч.-изд. л. 10,47. Тираж 150 000 экз. (2-й завод 50 001–100 000) Изд. № 20652. Заказ № 6177. Цена 1 р. 10 к.
Издательство «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693.

Тираспольская фабрика офсетной печати Госкомиздата Молдавской ССР, г. Тирасполь, ул 25 Октября, 99.

НАШИМ ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство "Радио и связь" книг не высылает. Литературу по вопросам радиоэлектроники и радиолюбительства можно приобрести в магазинах научно-технической книги.

Для сведения сообщаем, что по вопросам переделки и усовершенствования конструкций издательство и авторы консультацию не дают. По этим вопросам следует обращаться в письменную радиотехническую консультацию Центрального радиоклуба СССР по адресу: 103012, Москва, К-12, ул. Куйбышева, д. 4/2, пом. 12.

Издательство не имеет возможности оказать помощь в приобретении нужных Вам радиотоваров и не располагает сведениями о наличии их в торгующих организациях.

Радиотовары по почте высылают Центральная торговая база Посылторга (111126, Москва, Е-126, Авиамоторная, 50) и Московская межреспубликанская база Центросоюза (127471, Москва, Г-471, ул. Рябиновая, 45).

1 р. 10 к.



Светомузыкальные инструменты

Издательство «Радио и связь»